فصلنامه علمی پژوهشی دانش سرمایه‌گذاری
دوره ۱۵ / شماره ٤ (پیاپی ۶۰) / زمستان ۱٤۰۵
صفحه ۲۷ تا ۶۰

مقایسه مدل ترکیبی GARCH-EVT-Vine-Copula در بهینه‌سازی سبد دارایی‌های مالی در بازار سهام نسبت به مدل‌های مرسوم با امکان تغییر در دارایی‌های پرتفوی

عبداله عالیشوندی
گروه مدیریت مالی، واحد تهران مرکزی، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران.
alishavandi@gmail.com
مهرزاد مینویی
گروه مدیریت صنعتی، واحد تهران مرکزی، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران. (نویسنده مسئول)
minouei.mehrzad1401@gmail.com
میر فیض فلاح
گروه مدیریت مالی، واحد تهران مرکزی، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران.
fallahshams@gmail.com
غلامرضا زمردیان
گروه مدیریت مالی، واحد تهران مرکزی، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران.
gh.zomorodian@gmail.com

تاریخ دریافت: ۱۴۰۱/۰۷/۲۳ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۱/۱۱/۳۰

چکیده

هدف این پژوهش ارائه مدل بهینه‌سازی سبد دارایی‌های مالی در بازار سهام بر اساس ارزش در معرض ریسک شرطی(CVaR) به عنوان معیار ریسک پرتفوی با امکان تغییر در اقلام سبد دارایی است. در این پژوهش با استفاده از روش‌های تعمیم یافته ناهمسانی واریانس شرطی اتورگرسیو (GARCH) برای سری زمانی بازدهی‌ها و برای بررسی ساختار توزیع باقیمانده‌ها از تئوری مقادیر فرین (EVT) و برای بررسی ساختار وابستگی متقابل بین سری‌های زمانی از رویکرد کاپولا واین (Vine Copula) استفاده شد. مدل GARCH-EVT-Vine-Copula به منظور بهینه‌سازی سبد سهام و کمینه‌سازی ارزش در معرض ریسک شرطی معرفی شد. برای بررسی کارایی و مقایسه مدل‌های مختلف از روش وزن‌دهی مجدد و پنجره غلتان استفاده شده است. مدل‌سازی بر اساس داده‌های بازدهی بر پایه مدل انتخابی برای ۵ شرکت در بین ۳۰ شرکت برتر بورسی در طی دوره ۱۳۹۴ تا ۱۴۰۰ صورت پذیرفته است، با این شرط که ۵ شرکت انتخابی در سبد دارایی از قبل مشخص نباشند و نتیجه بهینه یابی در مدل، ۵ شرکت را از بین ۳۰ شرکت برتر بورسی انتخاب کند. نتایج نشان داد که استفاده از مقادیر فرین و وابستگی ساختاری بین سری‌های زمانی، موجب بهبود در شناسایی ریسک بین این بازدهی ها با توجه به نحوه ساختار وابستگی آنها می‌شود. در بین مدل‌های مختلف معرفی شده در این پژوهش بر اساس تابع ثروت انباشت شده، مدل EGARCH-EVT با در نظر گرفتن ساختار وابستگی بر پایه تابع کاپولای D-Vine در وضعیت بالاتری قرار دارد.

واژه‌های کلیدی: ارزش در معرض ریسک شرطی، بهینه‌سازی سبد، تئوری ارزش حدی، توابع کاپولا.

۱- مقدمه

بهینه‌سازی سبد سهام همواره یک مسئله مهم در بازارهای مالی و تصمیم گیری بوده است. از زمانی که مارکویتز[1] (۱۹۵۲) مدل خود را منتشر نمود، این مدل تغییرات فراوانی در انتخاب سبد سهام داشته است. همواره کمینه کردن خطرپذیری و ریسک و از طرفی بیشینه‌کردن بازده سرمایه گذاری یک اصل پذیرفته شده در تشکیل پرتفوی بهینه بوده است. به پیروی از مدل مارکویتز تحقیقات و پژوهش‌های زیادی در راستای توسعه و اصلاح این مدل انجام شده است.

مدل مارکویتز بر اساس تعداد دارایی در سبد، بهینه‌سازی برای میزان سرمایه‌گذاری در هر دارایی را مشخص می‌کند. اما در دنیای واقعی وجود تعداد زیادی دارایی در سبد، باعث ایجاد مشکل در بررسی آنها می شود. بیشتر سرمایه‌گذاران تمایل دارند در تعداد مشخصی از دارایی‌ها سرمایه‌گذاری کنند. لذا در دهه اخیر مطالعاتی برای محدودیت کاردینالیتی یا انتخاب تعداد مشخصی از دارایی‌ها از بین انبوهی از دارایی‌های پرتفوی بر اساس مدل مارکویتز انجام شده است. در این پژوهش این محدودیت نیز مورد بررسی قرار گرفته است.

در چارچوب مالی توزیع مشترک بین بازدهی‌ها تاثیر مهمی در نتایج محاسبات بهینه‌سازی دارد. یکی از روش‌های جایگزین برای مدل‌سازی ساختار وابستگی بین داده‌های چند متغیره، بدون تحمیل هرگونه فرضی بر توزیع‌های حاشیه‌ای، استفاده از توابع کاپولا[2] است که فرضیاتی مانند ضریب همبستگی خطی، عدم تقارن و وابستگی دنباله‌ای در بین توزیع بازدهی‌های مالی را در نظر می‌گیرد (پاتون،[3] ۲۰۰۴).

به منظور بررسی ریسک پرتفوی مدل‌های مختلفی ارائه شده است. در مطالعاتی همچون کارماکر[4](۲۰۱۷)، هان و همکاران[5](۲۰۱۷) و سهام خادم و همکاران[6](۲۰۱۸) رویکردی ترکیبی جهت در نظر گرفتن همزمان واریانس ناهمسانی شرطی در بین بازدهی‌های بازارهای مالی، در نظر گرفتن وابستگی ساختاری غیرخطی 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 ریسک شرطی شده است. بدین ترتیب بررسی و بهینه‌سازی سبد دارایی‌ها یکی از مهم‌ترین دغدغه‌های مدیریت ریسک جهت یافتن سبد بهینه‌ای از سهام، با بیشترین بازدهی(در سطح ریسک یکسان) و کمترین ریسک ممکن(در سطح بازدهی یکسان) 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 ترکیبی ساختار وابستگی با رهیافت تئوری ارزش فرین و واریانس ناهمسانی شرطی تعمیم یافته (GARCH-EVT-Vine-Copula) در بهینه‌سازی سبد سهام با امکان تغییر در دارایی‌هاپرتفوی پرداخته خواهد شد و در نهایت عملکرد مدل ترکیبی مذکور با روش‌های مرسوم بهینه‌سازی سبد سهام سنجیده می‌شود. همچنین

[1] Markowitz
[2] Copula
[3] Patton
[4] Karmakar
[5] Han, Li, & Xia
[6] Sahamkhadam et al

به منظور انتخاب پرتفوی بهینه از ارزش در معرض ریسک شرطی(CVaR) به عنوان شاخص ریسک پرتفوی استفاده شده است.

در ادامه پس از مروری بر مبانی نظری و پیشینه پژوهش، به روش شناسی پژوهش اشاره و یافته‌های تجربی حاصل از پژوهش حاضر ارائه خواهد شد و در انتها نتیجه‌گیری و بحث موضوعی مورد بررسی قرار خواهد گرفت.

مبانی نظری پژوهش

از زمانی که مارکویتز (۱۹۵۲) مدل خود را منتشر نمود، رویکردهای مختلفی نسبت به ریسک و بازده ارائه شده است. با وجود اینکه کم کردن خطرپذیری و ریسک و ماکزیمم‌کردن بازدهی به نظر ساده می‌رسد، اما در عمل روش های متعددی برای تشکیل پرتفوی بهینه به کار گرفته می شود.

مدل مارکویتز، بهینه‌سازی برای میزان سرمایه‌گذاری در سبد دارایی را بر اساس بررسی کل سبد سهام مشخص می‌کند. بر اساس پژوهش‌های صورت پذیرفته، هرچه تعداد سهام موردنظر سرمایه‌گذار در سبد بیشتر می‌شود، متنوع سازی بیشتری صورت گرفته و در نتیجه سبد سهام حاصله دارای ریسک و بازدهی کمتری خواهد بود و از سوی دیگر با در نظر گرفتن تعداد سهام کمتر، تنوع سبد سهام نیز کمتر شده و ریسک و بازده بیشتر می‌شود. وجود محدودیت تعداد سهام، یعنی سهامی که سرمایه‌گذار مایل است در سبد سهام مورد نظرش وجود داشته باشد، حل مدل را به تصمیمات واقعی سرمایه‌گذاری نزدیک تر می‌سازد. از این رو مدل ارائه شده می‌تواند در تصمیمات سرمایه‌گذاری به صورت گسترده‌ای مورد استفاده قرار گیرد. بنابراین سرمایه‌گذاران می‌توانند با توجه به کارایی مدل، با مشخص نمودن تعداد سهام مورد نظر خود اقدام به تشکیل سبدهای سهام کارا در سطوح مختلف ریسک و بازده نمایند. بدیهی است این امر می‌تواند هزینه های سرمایه‌گذاری را با پایین آوردن هزینه معاملات به شکل چشمگیری کاهش دهد زیرا همانگونه که اشاره شد در سطوح مختلف ریسک و بازده، تعداد سهام مورد نظر برای معامله توسط خود سرمایه‌گذار تعیین می‌گردد(تقوی فرد و دیگران، ۱۳۸۶).

در نظر گرفتن محدودیت عدد صحیح به عنوان یکی از محدودیت های اضافه شده به مدل سنتی مارکوویتز کمک شایانی به سرمایه‌گذاران نموده و حل مدل را به تصمیمات واقعی نزدیک تر می‌سازد و سرمایه‌گذاران می‌توانند با توجه به کارایی مدل و مشخص نمودن تعداد سهام مورد نظر خود اقدام به تشکیل سبدهای سهام متعدد نمایند و با تعریف لاندا در تابع هدف، سرمایه‌گذار می‌تواند با تغییر در مقدار ضریب لاندا تمایلات و ترجیحات خود را نسبت به ریسک و بازده در مدل اعمال نماید (عباسی و دیگران، ۱۳۸۹).

پژوهش ها نشان داده است که توزیع بازدهی در بازارهـای مـالی به صورت نرمال نیست و فرضیات مدل‌های زیادی برقرار نمی‌باشد. لذا نظریه فرامدرن پرتفوی با در نظر گرفتن معیارهـای ریسک گوناگونی از قبیـل مدل نـیم واریـانس، مـدل انحـراف مطلـق میـانگین، مـدل واریانس با چولگی و معیار ارزش در معرض خطر معرفی شده است. مدل تعیین سبد بهینه در چارچوب ارزش در معرض خطر(VaR)، مهمترین مدل مطرح شده می‌باشد.

کاربرد گسترده ارزش در معرض خطر به عنوان ابزاری برای ارزیابی ریسک و ادبیات گسترده‌ای که در این زمینه وجود دارد موجب شده است که پژوهش‌های بسیاری در اقتصاد مالی و ریسک بر روی آن صورت گیرد. در

این بین، معیار ارزش در معرض خطر شرطی(CVaR) برای بهینه‌سازی سبد سهام بیشتر مورد توجه قرار گرفته است به نحوی که در اکثر توابع بهینه‌سازی سبد سهام به دنبال کمینه کردن مقادیر ارزش در معرض خطر شرطی هستند(کارماکر،[1] ۲۰۱۷).

یکی از مشکلات پیش روی این موضوع بررسی توابع کاپولای n بعدی است که اغلب با توجه به محاسبات پیچیده از رویکرد توابع بیضوی[2] کاپولا (شامل توزیع نرمال و t استیودنت) در تمام سطوح استفاده شده است. در مسیر توسعه و رفع مشکلات رویکرد ثابت در توابع کاپولا، آس و همکاران[3] (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 بر 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 کاپولا دو 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. بر این اساس می‌توان توابع کاپولای مختلف را همزمان با توجه به نوع وابستگی و براساس 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 بازدهی های مالی را محاسبه و آن را در ارزش در معرض ریسک شرطی لحاظ نمود.

بدین ترتیب همانطور که اشاره شد، مسأله مقالات ارائه شده در زمینه بهینه‌سازی سبد سهام با لحاظ رویکرد GARCH-EVT-Copula در نظرگرفتن 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، که همانطور که مطالعات آس و همکاران (۲۰۰۹) و دیسمن ودیگران[4](۲۰۱۳) در پژوهش‌های خود نشان می‌دهند، این رویکرد نمی‌تواند به خوبی ساختار وابستگی را نشان دهد. لذا درنظر گرفتن ساختار وین می‌تواند بر این مشکلات غلبه کند. بر این اساس، در این پژوهش برای رفع مشکل درنظر گرفتن توابع کاپولای یکسان برای تمام سطوح ساختار وابستگی بین بازدهی‌های مالی در سبد سهام، می‌توان با استفاده از توابع کاپولای وین، به لحاظ ساختار وابستگی شرطی و درنظر گرفتن ترکیبی از توابع کاپولا مدل را تعریف نمود. بدین ترتیب اساس کار و تفاوت عمده این رویکرد و ترکیب آن با تئوری ارزش فرین و مدل‌سازی واریانس شرطی موجب شده است که این پژوهش به لحاظ پیشبرد در مدل‌سازی و رویکرد بررسی از مطالعات صورت گرفته در این راستا تفاوت عمده‌ای داشته باشد.

[1] Karmakar
[2] Elliptical copula
[3] Aas et al
[4] Dißmann et al

پیشینه پژوهش

بروهن و ارنست[1] (۲۰۲۲) در پژوهشی با عنوان ارزیابی ویژگی‌های ریسک بازار ارزهای دیجیتال با رویکرد GARCH-EVT-Copula به این نتایج رسیدند که همه ارزهای دیجیتال مورد بررسی، نوسانات بالایی را در حرکت قیمت خود نشان می‌دهند، به طوری که بیت کوین به عنوان پایدارترین ارز دیجیتال عمل می‌کند. همه توزیع‌های بازدهی دم پهن هستند و در معرض ریسک شدید قرار دارند. همچنین همبستگیهای قوی و مثبت درون بازاری، به ویژه با دو ارز دیجیتال بزرگ بیت کوین و اتریوم پیدا شد.

سهام خادم و همکاران[2](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 (استفاده از کاپولاهای گاووسی و تی- استیودنت). نتایج پژوهش یاد شده با استفاده از رویکرد وزن‌دهی مجدد و پیش بینی یک روزه نشان می‌دهد که رویکرد یاد شده نسبت به چندین مدل مرسوم دیگر نتایج بهتری را در کاهش ریسک پرتفوی داشته است.

کارماکر[3](۲۰۱۷) با استفاده از رویکرد AR-GARCH-EVT و لحاظ وابستگی ساختاری سعی در بهینه‌سازی ارزهای مختلف به صورت زوجی پرداخته است. نتایج پژوهش‌ها نشان دهنده این موضوع است که استفاده از تئوری ارزش فرین و وابستگی ساختاری موجب می‌شود در بهینه‌سازی سبد ارزی نسبت ارزش در معرض ریسک به بازدهی نسبت به رویکرد واریانس کوواریانس بهبود پیدا کند.

هان و همکاران[4](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 GARCH در بهینه‌سازی سبد سهام با لحاظ ارزش در معرض ریسک شرطی نتایج بهتری نسبت به رویکردهای مرسوم دارد.

کرزیمینوفسکی و شیمیک[5](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.

کریستوفرسن و همکاران[6](۲۰۱۴) به بررسی تاثیر ساختار وابستگی بر اساس توابع کاپولا در تبیین سبد بهینه‌سهام پرداختند. نتایج این پژوهش نشان می‌دهد که استفاده از توابع ارشمیدوسی و لحاظ وابستگی ساختاری در بازدهی ارزهای مختلف می‌تواند در عملکرد بهینه‌سازی سبد سهام نقش بسزایی داشته باشد.

[1] Bruhn and Ernst
[2] Sahamkhadam et al
[3] Karmakar
[4] Han, Li, & Xia
[5] Krzemienowski and Szymczyk
[6] Christoffersen, Errunza, Jacobs, & Jin

بوباکر و سریا[1](۲۰۱۳) به بهینه‌سازی سبد دارایی متشکل از یک جفت نرخ ارز و دو شاخص سهام با وجود حافظه بلندمدت و وابستگی آنها با استفاده از توابع کاپولای ارشمیدوسی پرداختند. آنها از دو نرخ ارز یورو و ین ژاپن نسبت به دلار و شاخص سهام Dow Jones و CAC 40 در فاصله زمانی جولای ۱۹۹۵ تا جولای ۲۰۰۸ استفاده کردند. نتایج آنها نشان می‌دهد که وابستگی بین دو جفت نرخ ارز و دو شاخص سهام نامتقارن بوده و محاسبه ارزش در معرض ریسک با شرط این وابستگی بهبود می‌یابد.

پاتون[2](۲۰۰۴) با استفاده از داده‌های ماهیانه CRSP[3] از ژانویه ۱۹۵۴ تا دسامبر ۱۹۹۹ و تئوری کاپولا، چولگی و عدم تقارن در بازدهی‌های مالی را برای تشکیل سبد دارایی یک سرمایه‌گذار (CRRA[4]) و وابستگی ساختاری پرتفوی به بازدهی‌های مثبت و منفی را بهتر از توزیع دوجمله‌ای نرمال دانسته است.

برای توصیف وابستگی دنباله‌ی بازدهی پرتفوی، پوون و دیگران[5](۲۰۰۴) با استفاده از تئوری ارزش فرین و دو روش ناپارامتریک در پنج بازار بین‌المللی سهام نشان دادند که همبستگی بین تلاطم بازدهی بین بازارهای بین-المللی در طول زمان افزایش یافته، به نحوی که این وابستگی در بین بازارهای اروپایی(انگلیس، فرانسه و آلمان) بیشتر از بازارهای آسیایی(ژاپن) و امریکای شمالی (ایالات متحده) است. اما این بازارها (اروپایی، آمریکای شمالی و آسیایی) به صورت مجانبی وابستگی ندارند، لذا لحاظ این موضوع در تشکیل سبد دارایی‌های بهینه نقش مهمی را ایفا خواهد کرد.

فلاح و علی‌زاده (۱۴۰۰)، به برآورد ارزش در معرض ریسک و ریزش مورد انتظار پرتفوی چهار شرکت سرمایه‌گذاری در بورس اوراق بهادار تهران در دوره ۱۳۸۸ تا ۱۳۹۵ با تاکید بر رویکرد ARIMA-GARCH-COPULA و مقایسه آن با عملکرد رویکردهای ارزش فرین تعمیم یافته (GEV)، روش واریانس- کوواریانس و روش شبیه‌سازی تاریخی پرداختند. نتایج این مطالعه حاکی از آن است که مدلARIMA-GARCH-COPULA بهترین عملکرد و دقت را در محاسبه ارزش در معرض ریسک و ریزش موردانتظار داشته و پس از آن مدل GEV که با استفاده از تئوری مقادیر فرین حاصل شده است در رتبه دوم قرار گرفته است.

فلاح و صادقی(۱۴۰۰)، به بهینه‌سازی پرتفوی با استفاده از رویکرد کاپولا(مبتنی بر کاپولاهای گاوسی و تی استیودنت) و ارزش در معرض ریسک شرطی چند متغیره در بورس اوراق بهادار تهران برای پرتفوی ۶ سهمی در بازه زمانی ۵ ساله ما بین دی ماه ۱۳۹۲ تا دی ماه ۱۳۹۷ پرداختند. نتایج بدست آمده از کارآمدی و قابل اطمینان بودن شبیه‌سازی مونت کارلو توسط کاپولای تی استیودنت در مقابل توزیع نرمال چند متغیره دارد.

فلاح پور و همکاران(۱۳۹۸)، به کمک الگوریتم تکامل تفاضلی(DE) به بهینه‌سازی فعال پرتفوی با هدف به حداکثر رساندن بازده مازاد پرتفوی نسبت به پرتفوی معیار با در نظر گرفتن ریسک کل پرتفوی که در محاسبه آن از معیار ارزش در معرض ریسک شرطی محاسبه شده بر اساس رویکرد GARCH استفاده شده است، پرداختند.

[1]Boubaker, Sghaier
[2] Patton
[3] The Center for Research in Security Prices (CRSP)
[4] Constant Relative Risk Aversion (CRRA)
[5] Poon et al

نتایج بررسی سبد سهام متشکل از ۱۴ سهم با میانگین بازدهی مثبت از ابتدای سال ۱۳۹۰ تا انتهای خرداد ماه ۱۳۹۶ از ۵۰ شرکت برتر بورس به صورت ماهانه نشان داد که در نظر گرفتن قید ریسک کل پرتفوی براساس ارزش در معرض ریسک شرطی موجب کارایی بهتر در بهینه‌سازی فعال سبد سهام بر اساس رویکرد پس آزمایی وزن‌دهی مجدد و محاسبه ارزش انباشت سبد سهام می‌شود.

لله گانی و زه تابیان(۱۳۹۷)، اقدام به بهینه‌سازی پرتفویی از شاخص صنایع در بورس اوراق بهادار تهران با هدف حداقل ساختن ارزش در معرض ریسک شرطی، داده های شبیه‌سازی شده بر اساس همبستگی ناشی از تابع کاپولا (مبتنی بر کاپولای t استیودنت) و توزیع تعمیم یافته پارتو به عنوان ورودی مدل پرداختند. بر اساس آزمون آماری صورت گرفته با بکارگیری این رویه، عملکرد پرتفوی به طور معناداری بهبود می‌یابد.

راغفر و آجورلو(۱۳۹۵)، ارزش در معرض ریسک پرتفوی ارزی یک بانک نمونه را با روش GARCH-EVT-COPULA محاسبه (استفاده از کاپولای t استیودنت) و در کنار این روش، از روش‌های واریانس-کواریانس و شبیه‌سازی تاریخی نیز استفاده شده است. بر اساس نتایج به دست آمده از آزمون کوپیک، اعتبار مدل GARCH-EVT-COPULA نسبت به دو مدل دیگر بیشتر می‌باشد.

فلاح‌پور و باغبان (۱۳۹۳)، به بررسی بهینه‌سازی سبد سهام به روش ارزش در معرض ریسک شرطی با لحاظ وابستگی ساختاری با توابع کاپولا پرداخته‌اند. در این پژوهش برای دو فلز طلا و مس با استفاده از داده‌های هفتگی ابتدای سال ۲۰۰۲ تا انتهای ۲۰۱۳ با استفاده از روش کاپولای نرمال اقدام به ایجاد پرتفوی بهینه شده و در انتها معیار شارپ به دست آمده از این روش با معیارشارپMean-CVaR مقایسه گردیده است و مشاهده می‌شود روش کاپولا عملکرد بهتری دارد.

پژوهش‌های داخلی در این حیطه محدود بوده و اغلب رویکردهای 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 شد اغلب مدل‌های بکار رفته برای محاسبه ریسک سبدهای سهام دوتایی بوده است. از این مطالعات می‌توان به پژوهش‌های کشاورز حداد و حیرانی(۱۳۹۳)، فلاح پور و احمدی(۱۳۹۳)، پویان فر و موسوی(۱۳۹۵)، پیش‌بهار و عابدی(۱۳۹۶) و قندهاری و همکاران(۱۳۹۶) اشاره کرد. در مطالعات خارجی نیز مشخص است که اغلب مطالعات در این حیطه به پژوهش‌هایی که از رویکردهایی همچون روش واریانس ناهمسانی شرطی تعمیم یافته(GARCH)، توابع کاپولا و رهیافت تئوری ارزش فرین(EVT) به صورت مجزا پرداخته‌اند، می‌توان اشاره نمود.

روش‌شناسی پژوهش

با توجه به هدف، پژوهش حاضر، مدل‌سازی جهت بهینه‌سازی سبد دارایی‌های مالی به روش GARCH-EVT-Vine-Copula با امکان تغییر در اقلام سبد دارایی است. بدین ترتیب می‌توان بیان کرد این پژوهش به گردآوری داده‌ها در طول چند سال پرداخته است، پژوهشی طولی و از نوع سری‌های زمانی با لحاظ بررسی بهینه‌سازی تابع ارزش در معرض ریسک شرطی سبد سهام محسوب می‌شود. پژوهش حاضر برمبنای طبقه‌بندی تحقیقات براساس روش، ماهیت و جهت به ترتیب توصیفی، کاربردی و پس‌رویدادی محسوب می‌شود.

در این پژوهش، برای جمع‌آوری مبانی نظری و همچنین داده‌های موردنیاز، از روش کتابخانه‌ای و نیز اطلاعات موجود در بانک اطلاعات وب‌سایت بورس اوراق بهادار تهران، وب سایت فرابورس ایران، نرم افزار ره آورد نوین و در نهایت شرکت فناوری اطلاعات بورس اوراق بهادار تهران استفاده می‌شود. همچنین نرم افزار مورد استفاده در این پژوهش، نرم افزار R می‌باشد.

مدل‌سازی واریانس شرطی

برای لحاظ کردن اطلاعات غیرخطی موجود در میان پسماندهای رگرسیون در هنگام تخمین پارامترهای مدل ARMA، مدل‌های خانواده‌ی ARCH و در حالت تعمیم یافته آن، مدل خانواده‌ی SGARCH[1] ابزار تحلیلی مناسبی می‌باشند و به صورت زیر تصریح می‌شوند:

$$r_t = \Phi_0 + \sum_{i=1}^{p} \Phi_i r_{t-i} - \sum_{i=1}^{q} \theta_i a_{t-i} + a_t$$
$$\sigma_t^2 = \alpha_0 + \sum_{i=1}^{m} \alpha_i a_{t-i}^2 + \sum_{j=1}^{n} \beta_j \sigma_{t-j}^2 \qquad (۱)$$

که در آن؛ $\{\varepsilon_t\}$ دنباله‌ای از متغیرهای تصادفی نابسته هم توزیع با میانگین صفر و واریانس ۱ است. به علاوه $\sum_{i=1}^{m} \alpha_i a_{t-i}^2$ نشان دهنده‌ی بخش ARCH و $\sum_{j=1}^{n} \beta_j \sigma_{t-j}^2$ مشخص کننده‌ی بخش GARCH است.

مدل EGARCH یا GARCH نمایی توسط نلسون (۱۹۹۱) پیشنهاد گردید. او در این مدل واریانس‌های شرطی را به صورت دیگری فرمول‌بندی می‌کند. واریانس شرطی مدل GARCH نمایی به صورت زیر محاسبه می‌شود (نلسون[2]، ۱۹۹۱):

$$\mathrm{Ln}\sigma_t^2 = \omega + \beta \mathrm{Ln}\sigma_{t-1}^2 + \gamma \frac{u_{t-1}}{\sqrt{\sigma_{t-1}^2}} + \alpha \left[\frac{|u_{t-1}|}{\sqrt{\sigma_{t-1}^2}} - \sqrt{\frac{2}{\pi}} \right] \qquad (۲)$$

این مدل دارای چند مزیت است. اولاً در این مدل، متغیر وابسته یعنی σ_t^2 به صورت لگاریتمی است و لذا ضرایب متغیرهای سمت راست می‌توانند مثبت یا منفی باشند که در هر حالت σ_t^2 مثبت خواهد شد. بدین ترتیب نیازی به اعمال این محدودیت که ضرایب الزاماً غیر منفی باشند وجود ندارد. ثانیاً در این مدل اگر اثر شوک‌ها نیز نامتقارن باشد، آنها را در نظر می‌گیرد، زیرا γ ضریب u_{t-1} است که u_{t-1} می‌تواند مثبت یا منفی باشد. در اینجا نیز اگر γ برابر صفر باشد، حالت تقارن وجود دارد و در غیر این صورت وجود عدم تقارن تائید می‌شود.

بررسی رفتار دنباله‌ای

تئوری مقدار فرین یک چارچوب قدرتمند برای مطالعه رفتار دنباله‌های توزیع است. تئوری ارزش فرین به بررسی نوسانات حداکثری توزیع نمونه می‌پردازد. این تئوری در مدل کردن توزیع احتمالی دنباله‌هایی که بیشتر از مقادیر

[1] Standard Garch
[2] Nelson

حدی نوسانِ مشاهده شده امتداد می‌یابند، بسیار مفید است.

در یک مدل ترکیبی ARMA-GARCH تابع توزیع مقادیر فراتر از آستانه $F_u(y)$ را می‌توان با توزیع تعمیم یافتهٔ پرتو به صورت زیر تقریب زد.

$$G_{\xi,\mu,\sigma}(x_{\max}) = 1 - \left[1 + \xi_{\max}\left(\frac{x_{\max} - \mu_{\max}}{\sigma_{\max}}\right)\right]^{-1/\xi_{\max}} \quad (۳)$$

برای تخمین پارامترها باید یک مقدار منطقی برای آستانهٔ u انتخاب شود. این آستانه تعیین‌کنندهٔ تعداد مشاهدات فراتر از آستانه است.

به نحوی که تابع احتمال و تابع احتمال لگاریتمی این توزیع به صورت زیر استخراج می‌گردد:

$$G_j(z_j) = \begin{cases} \frac{N_{u^L}}{N}\{1 + \xi^L \frac{u^L - z_j}{\beta^L}\}^{-\frac{1}{\xi^L}}, & z_j < -u^L \\ \phi(z_j), & u^L < z_j < u^R \\ 1 - \frac{N_{u^R}}{N}\{1 + \xi^L \frac{u^R - z_j}{\beta^R}\}^{-\frac{1}{\xi^R}}, & z_j > u^R \end{cases} \quad (۴)$$

که در آن مقادیر فرین بالایی(u^R) و پایینی(u^L) و مقادیر اندازه (ξ) و مقدار(β) از روش حداکثر راستنمایی برآورد می‌شوند.

توابع کاپولا

توابع کاپولا، برای اولین بار توسط اسکلار[1] در سال ۱۹۵۹ معرفی شد. نظریه اسکلار بیان می‌کند که هر توزیع چند متغیره می‌تواند عوامل توزیع تجمعی حاشیه‌ای داشته باشد و توابع کاپولا توصیف وابستگی بین توزیع‌های حاشیه‌ای آن خواهد بود.

برای مثال در حالت دو بعدی، در نظر بگیرید $x=(x_1,x_2)$ یک بردار دو بعدی دارای توزیع مشترک در تابع $F(x1,x2)$ با توزیع حاشیه‌ای $Fi(xi)$, $i=1,2$ باشد. در این صورت یک تابع کاپولا $C(u_1,u_2)$ به صورت زیر وجود خواهد داشت:

$$F(x_1, x_2) = P(X_1 < x_1, X_2 < x_2) = C\big(F_1(x_1), F_2(x_2)\big). \quad (۵)$$

تابع توزیع n بعدی $C:[0,1]^n \to [0,1]$ کاپولا نامیده می‌شود، که دارای توزیع‌های حاشیه‌های یک بعدی C_i است به طوری که به طور یکنواخت در بازه [۰، ۱] توزیع شده است. از بهم پیوستن توابع توزیع مشترک حاشیه‌ای، تابع

[1] Sklar

کاپولا n بعدی ساخته می‌شود. تابع توزیع n بعدی F متناظر با توابع توزیع حاشیه‌ای F_i و تابع کاپیولای C به صورت زیر است:

$$F(x_1,\dots,x_n) = C\big(F_1(x_1),\dots\dots,F_n(x_n)\big). \qquad (۶)$$

انواع توابع کاپولا

-کاپولای نرمال [1]

سونگ[2] (۲۰۰۰)، تابع کاپولای نرمال را به صورت زیر بیان کرد:

$$C^{Ga}(u_1,u_2;\rho) = \psi_\rho(\psi^{-1}(u_1),\psi^{-1}(u_2)) \qquad (7)$$

که در آن ψ_ρ تابع توزیع نرمال استاندارد دو متغیره با ضریب همبستگی $\rho \in (0,1)$ است. این تابع دارای وابستگی بالایی و پایینی صفر است.

-کاپولای t ـ استیودنت

امبرچت و همکاران (۲۰۰۱)، تابع توزیع تابع کاپولای t- استیودنت [3] را به صورت زیر بیان کردند:

$$T_{\upsilon,\rho}\big(t_\upsilon^{-1}(u_1),t_\upsilon^{-1}(u_2)\big) \qquad (8)$$

این تابع نیز همچون تابع نرمال متقارن بوده، با این تفاوت که مقدار وابستگی بالایی و پایینی در توزیع را متقارن اندازه‌گیری می‌کند و معیاری جهت وابستگی در دنباله‌ها را به همراه دارد.

-کاپولای ارشمیدسی

کاپولای ارشمیدسی یک دسته مهم از توابع کاپولا، با ساختار ساده و خصوصیات تحلیلی فراوان است. کاپولای ارشمیدسی دو متغیره به صورت $C(u_1,u_2) = \varphi^{[-1]}\{\varphi(u_1)+\varphi(u_2)\}$ است که پیوسته، اکیداً کاهشی و دارای تابع مولد $\varphi:[0,1]\to[0,\infty]$ است؛ به طوری که $\varphi(1)=0$ و تابع شبه معکوس $\varphi^{[-1]}$ به صورت زیر است:

$$\varphi^{[-1]}(t) = \begin{cases} \varphi^{-1}(t) & 0 \le t \le \varphi(0) \\ 0 & \varphi(0) \le t \le \infty \end{cases} \qquad (۹)$$

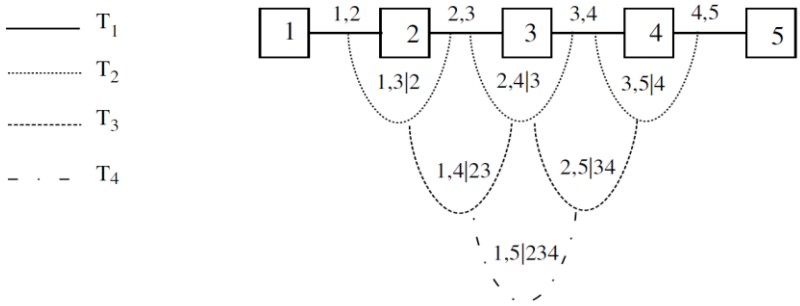
سه نوع کاپولای ارشمیدسی که به صورت رایج استفاده می‌شود شامل:
کاپولای کلایتون (کلایتون ۱۹۷۸) [4]؛ کاپولای فرانک (فرانک ۱۹۷۹) [5] وکاپولای گامبل (گامبل ۱۹۶۰) [6] می‌باشند.

[1] Normal Copula.
[2] Song.
[3] Student copula
[4] Clayton copula (Clayton)
[5] Frank copula (Frank)
[6] Gumbel copula (Gumbel)

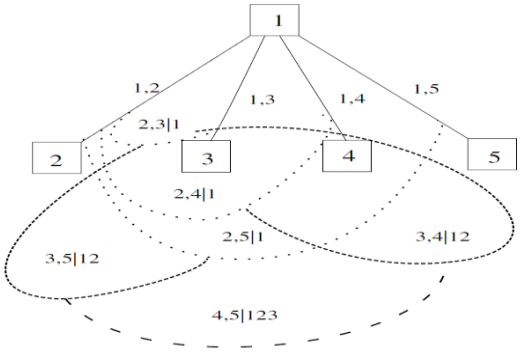
کاپولای واین (Vine-Copula)

در بعضی موارد استفاده از تابع کاپولا n بعدی به دلیل محاسبات پیچیده مناسب نیست. برای این منظور می‌توان از کاپولای دو بعدی متغیرها و استفاده از ساختاری درختی با نام vine یا مدل‌های تابع کاپولا زوجی[1] مشکل را 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(n-1)/2 تابع کاپولا دو بعدی بدست آورد. دو ساختار اصلی در این رویکرد مدل‌های C-vine[2] ، D-vine[3] هستند.



شکل(۱): ساختار D-Vine برای توزیع ۵ متغیره



شکل(۲): ساختار C-Vine برای توزیع ۵ متغیره

[1] Pair copula
[2] Canonical Vine
[3] Drawable Vine

محدودیت کاردینالیتی در انتخاب سبد سهام

بر اساس مدل مارکویتز، انتخاب پرتفوی بهینه براساس حداقل نمودن واریانس پرتفوی و حداکثر نمودن بازدهی است:

$$\begin{aligned} &\text{minimise} && \sum_{i=1}^{N}\sum_{j=1}^{N} w_i w_j \sigma_{ij} \\ &\text{subject to} \\ &&& \sum_{i=1}^{N} w_i \mu_i = R^* \\ &&& \sum_{i=1}^{N} w_i = 1 \\ &&& 0 \le w_i \le 1 \qquad\qquad i=1,\ldots,N \end{aligned} \tag{۱۰}$$

که بر اساس آن از بین تعداد زیادی سهم (N)، میزان سرمایه‌گذاری در هر سهم را مشخص می‌کند. اما در دنیای واقعی سرمایه‌گذار علاقه مند است که تعداد ثابتی سهم (K) را در سبد دارایی خود داشته باشد که این خود باعث کاهش ریسک غیر سیستماتیک پرتفوی شده و همچنین باعث تمرکز بیشتر سرمایه‌گذار بر روی دارایی‌های سبد خود می‌شود. برای این منظور مدل مارکویتز به صورت زیر تبدیل خواهد شد:

$$\begin{aligned} &\text{minimise} && \sum_{i=1}^{N}\sum_{j=1}^{N} w_i w_j \sigma_{ij} \\ &\text{subject to} \\ &&& \sum_{i=1}^{N} w_i \mu_i = R^* \\ &&& \sum_{i=1}^{N} w_i = 1 \\ &&& \sum_{i=1}^{N} z_i = K \\ &&& z_i \in [0,1] \qquad\qquad i=1,\ldots,N \end{aligned} \tag{۱۱}$$

که در آن z_i یک است اگر آن سهام در سبد دارایی قرار گیرد.

برای در نظر گرفتن معیار ریسک از ارزش در معرض ریسک شرطی(CVaR) در این پژوهش استفاده خواهیم کرد، که در آن ارزش در معرض ریسک شرطی به صورت زیر تعریف می‌شود.

$$CVaR_\beta(W_t) = \frac{1}{1-\beta}\int f(W_t, r_t) \ge \alpha_\beta(W_t) f(W_t, r_t) p(r_t) dr_t \tag{۱۲}$$

که در آن $f(W_t, r_t)$ تابع زیان سبد دارایی مالی با وزن مشخص w و $p(r_t)$ احتمال بازدهی r در زمان t است.

با تعریف q سناریو مختلف می‌توان معادله (۱۲) را به صورت زیر نوشت:

$$CVaR_{\beta}(W_t) = \alpha + \frac{1}{q(1-\beta)} \times \sum_{k=1}^{q} [-W_t^T r_{kt} - \alpha]^+$$

برنامه بهینه‌سازی بر اساس حداقل کردن CVaR با لحاظ کردن ساختار وابستگی بین بازدهی‌های مالی مدل‌شده توسط پارامتر کاپولا به صورت زیر مدل‌سازی خواهد شد:

$$\min_{(w_t,\alpha)} f_{\alpha}(W_t, \beta) = \alpha + \frac{1}{q(1-\beta)} \times \sum_{k=1}^{q} [-W_t^T r_{kt} - \alpha]^+ \quad (۱۳)$$

$$\forall t: \sum_{k=1}^{30} W_t^T I_{kt} = 1$$

$$\sum_{k=1}^{30} I_{kt} = 5$$

$$w_{kt} \geq 0 \; \forall_j \in \{1,2,\ldots\ldots,5\}$$

$$\mu(w_t) \leq -R, q = 5000$$

با توجه به اینکه این پژوهش بهینه‌سازی سبد سهام را در طول زمان و به صورت وزن‌دهی مجدد[1] مورد بررسی قرار می‌دهد، نیاز است که دوره‌ای برای برازش داده‌ها به عنوان درون نمونه و دوره‌ای برای برازش مدل بهینه‌سازی به عنوان خارج از نمونه در نظر گرفته شود. لازم به ذکر است در این پژوهش وزن‌دهی مجدد به صورت هفتگی و بر اساس روش پنجره غلتان انجام خواهد گرفت. به بیان دیگر این مراحل تا انتهای دوره خارج از نمونه تکرار خواهد شد.

سوال پژوهش

با توجه به مسائل مطرح شده در بخش قبل، سوال اصلی قابل طرح در این پژوهش را می‌توان به صورت زیر بیان نمود:

کارایی مدل ترکیبی GARCH-EVT-Vine-Copula در بهینه‌سازی سبد سهام با امکان تغییر در دارایی‌های پرتفوی و عملکرد آن در مقایسه با مدل‌های مرسوم چگونه است؟

جامعه و نمونه آماری پژوهش

جامعه آماری مورد نظر در این پژوهش شامل کلیه شرکت‌های پذیرفته شده در بورس اوراق بهادار تهران می‌باشد.

[1] Rebalanced

نمونه آماری مورد بررسی در این پژوهش نیز در طی دوره ۱۳۹۴ تا ۱۴۰۰ در چند مرحله به صورت زیر تبیین شده است:

۱) سهام شرکت‌های موجود در سبد سهام در کل دوره مورد بررسی در بین ۵۰ شرکت برتر بورسی قرار گرفته باشد.
۲) میانگین بازدهی طی دوره برای این گروه از شرکت‌ها صفر و یا مثبت باشد.
۳) از بین ۵۰ شرکت برتر بورسی تعداد ۳۰ شرکتی که بیشترین تعداد روز معاملاتی را داشته‌اند انتخاب می‌شوند.
۴) تعداد سهام حاضر در سبد سهام مورد بررسی ۵ سهم در نظر گرفته شده است که بر اساس تابع هدف، از بین ۳۰ شرکت برتر بورسی انتخاب می‌شوند.

یافته‌های پژوهش

آمار توصیفی داده های پژوهش

داده‌های مورد استفاده در پژوهش حاضر برای مدل‌سازی بر اساس داده‌های بازدهی ۵ شرکت در بین ۳۰ شرکت برتر بورسی در طی دوره ۱۳۹۴ تا ۱۴۰۰ (متغیرهای پژوهش) است که انتخاب ۵ شرکت بر اساس الگوریتم انتخابی که در ادامه توضیح داده شده است انتخاب شده اند.

دوره مورد بررسی شامل داده‌های روزانه با پنج روز کاری و به صورت پیوسته در نظر گرفته شده است. برای محاسبه بازده این شاخص از بازده لگاریتمی به صورت زیر بهره گرفته شده است؛

$r_t = 100 \times ln(p_t/p_{t-1})$ که در آن p_t برابر قیمت پایانی روزانه سهام است.

جدول(۱):آماره های توصیفی داده‌های بازدهی روزانه

نام سهام	معیارهای آماری							
	تعداد مشاهدات	میانگین	انحراف معیار	میانه	حداقل	حداکثر	چولگی	کشیدگی
اخابر	1425	0.002	0.028	-0.0009	-0.067	0.668	9.50	220.32
پارسان	1588	0.002	0.023	-0.0005	-0.093	0.187	0.52	3.24
پاکشو	1461	0.003	0.021	0.0001	-0.130	0.255	1.71	18.48
تاپیکو	1489	0.002	0.024	-0.0013	-0.096	0.177	0.56	3.22
جم	1554	0.002	0.026	-0.0002	-0.752	0.096	-14.75	423.72
حکشتی	1578	0.001	0.025	-0.0011	-0.088	0.166	0.43	1.59
خبهمن	1534	0.003	0.028	-0.0009	-0.069	0.221	0.57	2.22
خگستر	1558	0.003	0.040	-0.0013	-0.121	1.000	10.29	257.42
خودرو	1529	0.003	0.039	-0.0003	-0.096	1.000	11.18	277.73

نام سهام	معیارهای آماری							
	تعداد مشاهدات	میانگین	انحراف معیار	میانه	حداقل	حداکثر	چولگی	کشیدگی
شاراک	1587	0.003	0.023	0.0004	-0.076	0.109	0.21	0.59
شبریز	1533	0.003	0.028	-0.0009	-0.200	0.109	-0.28	2.54
شبندر	1481	0.003	0.031	0.0008	-0.175	0.526	3.27	55.06
شپدیس	1594	0.003	0.021	-0.0005	-0.051	0.101	0.32	0.95
شپنا	1568	0.003	0.027	-0.0002	-0.095	0.189	0.51	1.84
شخارک	1539	0.002	0.021	-0.0003	-0.059	0.234	1.34	12.51
شفن	1507	0.003	0.021	-0.0001	-0.050	0.131	0.46	1.80
شیراز	1501	0.002	0.024	-0.0008	-0.050	0.161	0.69	2.59
فارس	1564	0.002	0.020	-0.0007	-0.097	0.121	0.43	2.63
فخوز	1526	0.003	0.024	-0.0004	-0.218	0.127	-0.18	5.14
فملی	1547	0.003	0.024	0.0004	-0.118	0.199	0.60	3.95
فولاد	1553	0.003	0.023	-0.0003	-0.149	0.118	0.20	1.82
کاما	1584	0.003	0.033	-0.0011	-0.104	0.484	2.39	28.69
کچاد	1517	0.003	0.024	-0.0007	-0.090	0.258	1.23	9.67
کگل	1519	0.003	0.023	-0.0004	-0.050	0.196	0.78	4.04
مبین	1531	0.002	0.020	-0.0003	-0.175	0.101	-0.12	4.99
وبانک	1576	0.002	0.022	-0.0005	-0.079	0.168	0.49	2.98
وصندوق	1491	0.002	0.021	-0.0007	-0.097	0.163	0.57	3.38
وغدیر	1598	0.002	0.023	-0.0009	-0.050	0.189	0.58	2.97
ومعادن	1475	0.003	0.024	-0.0009	-0.127	0.124	0.36	1.50
همراه	1594	0.001	0.017	-0.0005	-0.050	0.096	0.53	2.99

منبع: نتایج پژوهش

جدول(۲):آزمون‌های آماری داده‌های بازدهی روزانه

نام سهام	آزمون‌های آماری							
	Augmented Dickey-Fuller Test		Phillips-Perron Unit Root Test		ARCH LM-test		jarque.bera test	
	statistic	p_value	statistic	p_value	statistic	p_value	statistic	p_value
اخابر	-25.95	0.01	-938.8	0.01	331.9	0	36.5	0.00000
پارسان	-27.61	0.01	-1073.5	0.01	245.7	0	18.2	0.00011
پاکشو	-26.71	0.01	-899.9	0.01	313.9	0	166.8	0.00000
تاپیکو	-26.64	0.01	-970.6	0.01	253.0	0	17.3	0.00018

نام سهام	آزمون‌های آماری							
	Augmented Dickey-Fuller Test		Phillips-Perron Unit Root Test		ARCH LM-test		jarque.bera test	
	statistic	p_value	statistic	p_value	statistic	p_value	statistic	p_value
جم	-28.58	0.01	-1073.7	0.01	332.7	0	214.0	0.00000
حکشتی	-26.14	0.01	-1011.7	0.01	361.8	0	16.1	0.00033
خبهمن	-29.17	0.01	-1111.1	0.01	153.5	0	27.7	0.00000
خگستر	-27.29	0.01	-1135.9	0.01	84.1	0	77.1	0.00000
خودرو	-28.92	0.01	-1134.3	0.01	90.1	0	47.2	0.00000
شاراک	-28.77	0.01	-1034.8	0.01	346.1	0	4.9	0.08504
شبریز	-27.06	0.01	-1049.2	0.01	118.7	0	22.8	0.00001
شبندر	-27.68	0.01	-1046.7	0.01	138.6	0	14.6	0.00067
شپدیس	-30.39	0.01	-1169.1	0.01	219.7	0	48.0	0.00000
شپنا	-27.71	0.01	-1137.8	0.01	204.8	0	14.4	0.00074
شخارک	-27.07	0.01	-983.9	0.01	227.1	0	105.9	0.00000
شفن	-26.21	0.01	-943.4	0.01	268.0	0	80.1	0.00000
شیراز	-28.18	0.01	-1039.1	0.01	125.4	0	17.0	0.00021
فارس	-26.89	0.01	-1012.0	0.01	370.1	0	148.8	0.00000
فخوز	-27.88	0.01	-1024.6	0.01	302.6	0	13.1	0.00145
فملی	-28.59	0.01	-1127.8	0.01	209.5	0	8.3	0.01583
فولاد	-28.78	0.01	-1118.1	0.01	238.3	0	14.4	0.00073
کاما	-28.83	0.01	-1115.8	0.01	140.8	0	47.8	0.00000
کچاد	-28.50	0.01	-1056.5	0.01	249.5	0	20.1	0.00004
کگل	-28.05	0.01	-1087.5	0.01	269.1	0	14.6	0.00067
مبین	-28.49	0.01	-1044.2	0.01	222.8	0	71.8	0.00000
وبانک	-27.79	0.01	-1055.7	0.01	287.4	0	40.9	0.00000
وصندوق	-26.24	0.01	-949.1	0.01	307.9	0	81.6	0.00000
وغدیر	-28.45	0.01	-1078.8	0.01	312.0	0	18.0	0.00012
ومعادن	-28.54	0.01	-1041.1	0.01	229.8	0	18.7	0.00009
همراه	-26.00	0.01	-977.3	0.01	426.9	0	491.9	0.00000

منبع: نتایج پژوهش

در این بررسی آزمون مانایی متغیرهای مورد بررسی به روشهای دیکی فولر تعمیم یافته (ADF) و فیلیپس پرون(PP) به خوبی نشان می‌دهد که این سری‌های زمانی مانا بوده و فرض صفر مبنی بر عدم مانایی(وجود ریشه واحد) آنها در سطح ۹۹ درصد رد می‌گردد.

همچنین به خوبی مشخص است که در آزمون LM-ARCH وجود واریانس شرطی غیرهمسان سری‌های مورد نظر وجود دارد و نیازمند مدل‌سازی واریانس متغیرها به صورت تک متغیره است.

علاوه بر این با توجه به اینکه ضریب کشیدگی بازدهی سری‌های مورد بررسی بیشتر از ضریب کشیدگی تابع چگالی نرمال است، بنابراین تابع چگالی بازدهی این دارایی ها، دارای دنباله پهن و قله بلند دارد و آماره جارک برا بیانگر آن است که تابع توزیع بازدهی دارایی ها نرمال نیست.

با توجه به این موضوع که داده‌های مورد نظر از لحاظ آماری دارای توزیع نرمال نبوده‌اند و از طرفی اثرات ARCH نشان می‌دهد که سری‌های مورد نظر نیازمند بررسی مدل‌سازی واریانس هستند، در این پژوهش با توجه به این مهم که شوک‌های وارد شده در بازارهای مالی اغلب نامتقارن هستند، مطابق آنچه توضیح داده شد از رویکردهای مختلف مدل‌های GARCH به صورت ساده و نامتقارن استفاده می‌شود و مناسب‌ترین مدل و شکل تصریح مدل ارائه می‌شود.

به منظور انتخاب بهترین مدل ARMA-GARCH برای هر سری زمانی مدل‌های مختلفی بر اساس مرتبه مدل *AR* ، مرتبه مدل *MA* ، مرتبه *ARCH*، مرتبه *GARCH* و توزیع باقیمانده ها برای دو نوع مدل SGARCH و EGARCH بررسی شده است.

لذا برای هر ۳۰ سری زمانی مدل مختلف بررسی شده و برای هر مدل معیار Akaike محاسبه شده است و مدلی که بهترین معیار آکائیک را داشته باشد انتخاب شده است که در جدول زیر برای مدل SGARCH نمایش داده شده است[1]. برآوردها برای متغیرهای مورد بررسی در جدول(۴) و (6) خلاصه شده است.

جدول (۳): ویژگی های بهترین مدل انتخاب شده بر اساس معیار آکائیک در ساختار SGARCH

Akaike	IncludeMean	armaOrder2	armaOrder1	garchOrder2	garchOrder1	Distribution	Models	Name
-5.666	TRUE	0	1	1	1	sstd	sGARCH	اخابر
-5.153	FALSE	1	0	1	1	sged	sGARCH	پارسان
-6.210	TRUE	0	1	1	1	sged	sGARCH	پاکشو
-5.222	FALSE	1	0	1	1	sstd	sGARCH	تاپیکو
-5.989	TRUE	1	1	1	1	sged	sGARCH	جم
-5.408	TRUE	0	1	1	1	sstd	sGARCH	حکشتی
-4.599	TRUE	1	0	1	1	sstd	sGARCH	خبهمن
-4.207	FALSE	1	1	1	1	ghyp	sGARCH	خگستر

[1] norm: normal distribution
snorm : skew-normal distribution
std : student-t
sstd : skew-student
ged: generalized error distribution
sged: skew-generalized error distribution
nig: normal inverse gaussian distribution
ghyp: Generalized Hyperbolic

Akaike	IncludeMean	armaOrder2	armaOrder1	garchOrder2	garchOrder1	Distribution	Models	Name
-4.360	FALSE	1	1	1	1	ghyp	sGARCH	خودرو
-5.268	TRUE	1	1	1	1	sged	sGARCH	شاراک
-4.627	TRUE	0	1	1	1	sstd	sGARCH	شبریز
-4.575	TRUE	1	0	1	1	sstd	sGARCH	شبندر
-5.465	TRUE	1	1	1	1	sged	sGARCH	شپدیس
-4.674	TRUE	0	1	1	1	sstd	sGARCH	شپنا
-5.999	TRUE	0	1	1	1	ged	sGARCH	شخارک
-5.870	TRUE	0	1	1	1	ged	sGARCH	شفن
-5.166	FALSE	0	1	1	1	sged	sGARCH	شیراز
-5.951	FALSE	0	1	1	1	sged	sGARCH	فارس
-5.107	TRUE	0	1	1	1	sstd	sGARCH	فخوز
-4.975	TRUE	1	0	1	1	sstd	sGARCH	فملی
-5.095	TRUE	1	0	1	1	sstd	sGARCH	فولاد
-4.322	FALSE	1	0	1	1	ghyp	sGARCH	کاما
-5.178	FALSE	0	1	1	1	sstd	sGARCH	کچاد
-5.248	FALSE	1	1	1	1	nig	sGARCH	کگل
-5.629	TRUE	1	0	1	1	sstd	sGARCH	مبین
-5.566	TRUE	0	1	1	1	sged	sGARCH	وبانک
-5.850	FALSE	1	1	1	1	sged	sGARCH	وصندوق
-5.341	TRUE	0	1	1	1	sged	sGARCH	وغدیر
-5.082	FALSE	0	1	1	1	sged	sGARCH	ومعادن
-6.571	TRUE	1	1	1	1	sged	sGARCH	همراه

جدول (۴): پارامترهای مدل ARMA-SGARCH برای سری‌های زمانی

سهام	پارامترهای مدل								
	mu	ar1	ma1	alpha1	beta1	omega	skew	shape	ghlambda
اخابر	0.00062	0.256		0.100	0.900	0.0000006	3.850	1.206	
پارسان			0.266	0.118	0.867	0.0000080	1.053	1.100	
پاکشو	0.00034	0.236		0.238	0.762	0.0000018	0.599	1.056	
تاپیکو			0.297	0.104	0.896	0.0000011	5.372	1.199	
جم	0.00004	1.000	-1.000	0.285	0.715	0.0000057	0.698	1.048	
حکشتی	-0.00080	0.325		0.156	0.844	0.0000005	4.587	1.124	
خبهمن	0.00135		0.250	0.107	0.891	0.0000055	12.776	1.242	
خگستر		0.543	-0.274	0.099	0.901	0.0000066	0.250	0.969	-6
خودرو		-0.258	0.500	0.111	0.877	0.0000156	0.251	0.987	-6
شاراک	0.00127	0.224	0.099	0.163	0.837	0.0000028	1.070	1.152	

سهام	پارامترهای مدل								
	mu	ar1	ma1	alpha1	beta1	omega	skew	shape	ghlambda
شبریز	-0.00018	0.304		0.098	0.902	0.0000004	6.792	1.114	
شبندر	0.00178		0.260	0.146	0.854	0.0000091	7.323	1.107	
شپدیس	0.00060	-0.119	0.279	0.103	0.897	0.0000013	0.804	1.134	
شپنا	0.00182	0.248		0.126	0.865	0.0000113	9.497	1.204	
شخارک	-0.00037	0.294		0.200	0.800	0.0000017	0.674		
شفن	-0.00027	0.177		0.101	0.899	0.0000009	0.598		
شیراز		0.248		0.157	0.843	0.0000013	0.810	1.068	
فارس		0.250		0.143	0.857	0.0000009	0.903	1.110	
فخوز	0.00082	0.287		0.322	0.678	0.0000167	4.584	1.148	
فملی	0.00084		0.253	0.118	0.882	0.0000024	5.565	1.159	
فولاد	0.00186		0.298	0.176	0.824	0.0000077	6.637	1.199	
کاما			0.261	0.173	0.812	0.0000253	0.309	0.990	-6
کچاد		0.256		0.160	0.840	0.0000011	4.066	1.146	
کگل		0.535	-0.264	0.144	0.856	0.0000018	1.380	0.205	
مبین	0.00080		0.224	0.164	0.836	0.0000016	3.919	1.170	
وبانک	0.00149	0.262		0.145	0.855	0.0000026	0.964	1.197	
وصندوق		0.388	-0.172	0.214	0.786	0.0000030	0.748	1.090	
وغدیر	0.00099	0.292		0.097	0.903	0.0000015	1.212	1.237	
ومعادن		0.233		0.155	0.845	0.0000014	1.093	1.163	
همراه	0.00082	0.353	-0.134	0.134	0.866	0.0000007	0.837	1.250	

جدول (۵): ویژگی های بهترین مدل انتخاب شده بر اساس معیار آکائیک در ساختار EGARCH

Name	Models	Distribution	garchOrder1	garchOrder2	armaOrder1	armaOrder2	IncludeMean	Akaike
اخابر	eGARCH	sstd	1	1	1	0	TRUE	-5.685
پارسان	eGARCH	sstd	1	1	1	0	TRUE	-5.158
پاکشو	eGARCH	sged	1	1	1	0	FALSE	-6.241
تاپیکو	eGARCH	sstd	1	1	0	1	TRUE	-5.231
جم	eGARCH	sged	1	1	0	1	TRUE	-6.048
حکشتی	eGARCH	sstd	1	1	1	0	TRUE	-5.440
خبهمن	eGARCH	sstd	1	1	0	1	TRUE	-4.604
خگستر	eGARCH	ghyp	1	1	1	1	FALSE	-4.220
خودرو	eGARCH	ghyp	1	1	1	1	FALSE	-4.371
شاراک	eGARCH	sged	1	1	1	0	TRUE	-5.279
شبریز	eGARCH	sstd	1	1	1	0	FALSE	-4.661

Akaike	IncludeMean	armaOrder2	armaOrder1	garchOrder2	garchOrder1	Distribution	Models	Name
-4.585	TRUE	1	0	1	1	sstd	eGARCH	شبندر
-5.481	TRUE	1	1	1	1	sged	eGARCH	شپدیس
-4.677	TRUE	1	1	1	1	sstd	eGARCH	شپنا
-6.009	TRUE	0	1	1	1	sged	eGARCH	شخارک
-5.908	TRUE	0	1	1	1	ged	eGARCH	شفن
-5.188	TRUE	0	1	1	1	ged	eGARCH	شیراز
-5.957	FALSE	0	1	1	1	sged	eGARCH	فارس
-5.101	TRUE	0	1	1	1	sstd	eGARCH	فخوز
-4.978	FALSE	1	0	1	1	sstd	eGARCH	فملی
-5.101	TRUE	1	0	1	1	sstd	eGARCH	فولاد
-4.334	TRUE	1	0	1	1	ghyp	eGARCH	کاما
-5.196	FALSE	0	1	1	1	sstd	eGARCH	کچاد
-5.260	TRUE	0	1	1	1	sstd	eGARCH	کگل
-5.644	TRUE	0	1	1	1	sstd	eGARCH	مبین
-5.572	TRUE	0	1	1	1	sged	eGARCH	وبانک
-5.869	TRUE	1	1	1	1	sged	eGARCH	وصندوق
-5.352	TRUE	0	1	1	1	sstd	eGARCH	وغدیر
-5.092	TRUE	1	1	1	1	sged	eGARCH	ومعادن
-6.578	TRUE	0	1	1	1	sged	eGARCH	همراه

جدول (۶): پارامترهای مدل ARMA-EGARCH برای سری‌های زمانی

سهام	پارامترهای مدل									
	mu	ar1	ma1	alpha1	beta1	gamma۱	omega	skew	shape	ghlambda
اخابر	0.00067	0.252		-0.027	0.977	0.401	-0.198	3.255	1.215	
پارسان	0.00101	0.286		0.080	0.878	0.548	-0.960	3.974	1.108	
پاکشو		0.285		-0.010	0.917	0.729	-0.697	0.522	1.003	
تاپیکو	0.00044		0.306	0.041	0.939	0.430	-0.494	5.105	1.205	
جم	0.00068		0.005	0.085	0.998	0.059	-0.022	0.629	1.132	
حکشتی	-0.00094	0.323		0.002	0.991	0.398	-0.073	3.177	1.099	
خبهمن	0.00144		0.263	0.034	0.923	0.300	-0.573	14.735	1.216	
خگستر		0.590	-0.303	0.005	0.915	0.137	-0.602	0.250	0.973	-6
خودرو		-0.178	0.440	0.006	0.897	0.209	-0.744	0.250	0.987	-6
شاراک	0.01894	0.212		-4.165	0.900	2.147	0.001	0.100	1.051	
شبریز		0.317		0.088	0.909	0.414	-0.684	6.198	1.102	

سهام	پارامترهای مدل									
	mu	ar1	ma1	alpha1	beta1	gamma1	omega	skew	shape	ghlambda
شبندر	0.00241		0.251	-0.001	0.997	0.174	-0.027	6.710	1.148	
شپدیس	0.00039	-0.196	0.362	-0.020	0.930	0.487	-0.565	0.763	1.109	
شپنا	0.00209	0.632	-0.411	0.049	0.915	0.321	-0.641	10.222	1.201	
شخارک	0.00035	0.363		-0.019	0.999	0.299	-0.006	0.594	1.055	
شفن	-0.00028	0.195		-0.004	0.956	0.355	-0.347	0.539		
شیراز	-0.00094	0.229		0.079	0.901	0.698	-0.768	0.742		
فارس		0.243		-0.011	0.959	0.504	-0.362	0.846	1.103	
فخوز	0.00147	0.315		0.175	0.961	0.313	-0.308	3.451	1.158	
فملی			0.274	0.018	0.958	0.333	-0.332	5.066	1.119	
فولاد	0.00182		0.302	0.049	0.968	0.260	-0.253	6.517	1.188	
کاما	0.00120		0.273	0.030	0.919	0.307	-0.587	0.331	0.990	-6
کچاد		0.274		0.058	0.956	0.356	-0.344	3.298	1.127	
کگل	-0.00004	0.316		0.058	0.813	0.729	-1.504	4.890	1.111	
مبین	0.00115	0.239		0.092	0.961	0.416	-0.323	3.058	1.178	
وبانک	0.00145	0.252		0.041	0.977	0.357	-0.191	0.918	1.210	
وصندوق	-0.00156	0.989	-0.982	-0.047	0.923	0.685	-0.634	0.668	1.049	
وغدیر	0.00109	0.295		0.029	0.981	0.318	-0.157	5.050	1.285	
ومعادن	0.00101	0.378	-0.136	0.100	0.923	0.451	-0.613	1.066	1.179	
همراه	0.00089	0.202		-0.018	0.999	0.306	-0.016	0.758	1.260	

منبع: نتایج پژوهش

به خوبی مشخص است که اکثر پارامترهای برآورد شده در بهترین مدل انتخاب شده بر اساس معیار آکائیک، در ساختارهای SGARCH وEGARCH برای سهم های مورد بررسی، از لحاظ آماری معنی دار است.

معنی داری ضرایب مدل گارچ نشان دهنده این است که نوسانات روزانه در بورس اوراق بهادار تهران تحت تاثیر نوسانات روزهای قبل می‌باشد یا به عبارتی بوسیله نوسانات روزهای گذشته می‌توان نوسانات روزهای آینده را پیش بینی نمود.

معنی داری ضریب مدل آرچ نیز گویای این است که نوسانات روزانه در بورس اوراق بهادار تهران با مقدار باقیمانده های روزهای قبل در ارتباط است. همچنین معنی داری ضرایب مدل ARMA نشان دهنده این است که بازدهی روزانه در بورس اوراق بهادار تهران با بازده های روزهای قبل و همچنین با باقیمانده های روزهای گذشته در ارتباط است یا به عبارتی بوسیله بازده های روزهای گذشته می‌توان بازدهی روزهای آینده را پیش بینی نمود.

در مدل EGARCH اثرات نامتقارن شوک ها با پارامتر gamma نشان داده شده است. عدد مثبت و معنی داری آن مبنی بر وجود اثرات نامتقارن شوک ها بوده و نشان می‌دهد که شوک های منفی نسبت به شوک های مثبت اثر بیشتری را در پرتلاطم کردن بازدهی خواهد داشت.

همانطور که قبلا بیان شد، تئوری مقدار فرین یک چارچوب قدرتمند برای مطالعه رفتار دنباله‌های توزیع است. تئوری ارزش فرین به بررسی نوسانات حداکثری توزیع نمونه می‌پردازد. این تئوری در مدل کردن توزیع احتمالی دنباله‌هایی که بیشتر از مقادیر حدی نوسانِ مشاهده شده امتداد می‌یابند، بسیار مفید است. دو روش برای تعیین داده‌های فرین وجود دارد. روش حداکثر بلوک[1] و رویکرد فراتر از آستانه[2]. در پژوهش حاضر از رویکرد فراتر از آستانه استفاده شده است.

همانطور که در این بررسی مشخص است، پارامترهای Beta وxi (شاخص دنباله) برای دو دنباله سمت راست و سمت چپ برای بازدهی تمامی سری‌ها مثبت و معنی‌دار است. این نتیجه نشان می‌دهد که تمامی این سری‌های زمانی دارای دنباله‌های پهن و به عبارت دیگر تاثیرگذار هستند. بدین ترتیب اعمال کردن رویدادهای فرین در بررسی و اندازه‌گیری ریسک بازدهی برای پرتفوی سهام باید مورد توجه قرار بگیرد.

نتایج برآورد به روش توزیع GPD[3] با آستانه‌های انتخابی مناسب بر اساس رویکرد حداکثر راستنمایی برای مدل ARMA-SGARCH و ARMA-EGARCH در جدول (۷) و (۸) خلاصه شده است.

جدول (۷): برآورد پارامترهای ارزش فرین مدل SGARCH به روش GPD

نماد	پارامتر	Threshold upper	upperFit Par ests	upperFit Par se	Threshold lower	lowerFit Par ests	lowerFit Par se
اخابر	xi	1.2846	0.4626	0.1227	-1.0705	0.1519	0.0970
	beta		0.5606	0.0805		0.4363	0.0558
پارسان	xi	1.3275	0.1847	0.0942	-1.1073	0.1211	0.0895
	beta		0.5825	0.0713		0.4953	0.0592
پاکشو	xi	1.3948	0.2374	0.1024	-0.9074	0.3299	0.1104
	beta		1.0965	0.1428		0.5435	0.0736
تاپیکو	xi	1.3765	0.2935	0.1063	-1.1019	0.2043	0.0993
	beta		0.5407	0.0715		0.4066	0.0521
جم	xi	1.3486	0.2514	0.1005	-0.9676	0.3634	0.1099
	beta		0.7432	0.0944		0.5206	0.0693
حکشتی	xi	1.3164	0.1249	0.0898	-1.1348	0.2645	0.1012
	beta		0.8034	0.0962		0.5262	0.0670
خبهمن	xi	1.3764	0.2366	0.1000	-1.1607	0.0277	0.0834

[1] Block maxima
[2] Peak over threshold
[3] Generalized pareto distribution

نماد	پارامتر	Threshold upper	upperFit Parests	upperFit Parse	Threshold lower	lowerFit Parests	lowerFit Parse
	beta		0.4180	0.0531		0.3889	0.0452
خگستر	xi	1.2914	0.2186	0.0979	-1.2613	0.0478	0.0844
	beta		0.3387	0.0425		0.3199	0.0373
خودرو	xi	1.3415	0.2914	0.1047	-1.2224	0.0599	0.0863
	beta		0.3302	0.0430		0.3290	0.0390
شاراک	xi	1.3391	0.0846	0.0863	-1.1196	0.0628	0.0848
	beta		0.7691	0.0901		0.5221	0.0607
شبریز	xi	1.4104	0.0608	0.0858	-1.1289	0.2318	0.0999
	beta		0.5867	0.0691		0.4535	0.0577
شبندر	xi	1.2457	0.2919	0.1062	-1.1687	0.1855	0.0978
	beta		0.4237	0.0560		0.4016	0.0510
شپدیس	xi	1.3521	0.3791	0.1094	-1.0410	0.1047	0.0879
	beta		0.5597	0.0737		0.5981	0.0707
شپنا	xi	1.2901	0.1058	0.0885	-1.1655	0.1201	0.0900
	beta		0.5462	0.0650		0.3813	0.0458
شخارک	xi	1.3256	0.6326	0.1320	-1.0186	0.2417	0.1007
	beta		0.5825	0.0851		0.5547	0.0709
شفن	xi	1.3226	0.4867	0.1214	-0.9416	0.2558	0.1029
	beta		0.5894	0.0830		0.5067	0.0658
شیراز	xi	1.4299	0.1858	0.0968	-1.1044	0.2615	0.1033
	beta		0.7333	0.0922		0.5945	0.0774
فارس	xi	1.2827	0.1074	0.0887	-1.0675	0.0796	0.0867
	beta		0.9240	0.1101		0.5456	0.0644
فخوز	xi	1.2642	0.0824	0.0878	-1.0965	0.2625	0.1027
	beta		0.7776	0.0928		0.4867	0.0629
فملی	xi	1.3389	0.3615	0.1097	-1.1005	0.2186	0.0985
	beta		0.4835	0.0643		0.4262	0.0538
فولاد	xi	1.2666	0.0298	0.0827	-1.1082	0.2244	0.0987
	beta		0.6433	0.0742		0.4082	0.0515
کاما	xi	1.3102	0.2741	0.1014	-1.1469	-0.0632	0.0748
	beta		0.4523	0.0574		0.4169	0.0455
کچاد	xi	1.3692	0.4111	0.1148	-1.0753	0.2290	0.1003
	beta		0.6560	0.0897		0.4929	0.0631

lowerFit Par se	lowerFit Par ests	Threshold lower	upperFit Par se	upperFit Par ests	Threshold upper	پارامتر	نماد
0.0805	-0.0139	-1.0994	0.0976	0.1988	1.3477	xi	کگل
0.0644	0.5616		0.0843	0.6688		beta	
0.1103	0.3596	-1.0422	0.1002	0.2397	1.3594	xi	مبین
0.0667	0.4984		0.0847	0.6651		beta	
0.0870	0.0871	-1.0891	0.0922	0.1556	1.3109	xi	وبانک
0.0574	0.4860		0.0862	0.7104		beta	
0.0993	0.2085	-1.0265	0.1016	0.2401	1.3575	xi	وصندوق
0.0644	0.5043		0.1082	0.8390		beta	
0.0877	0.1028	-1.1053	0.0865	0.0910	1.3430	xi	وغدیر
0.0501	0.4237		0.0768	0.6555		beta	
0.0928	0.1217	-1.1066	0.0943	0.1428	1.3679	xi	ومعادن
0.0620	0.5003		0.0977	0.7836		beta	
0.0859	0.0804	-1.0286	0.0880	0.1094	1.2884	xi	همراه
0.0615	0.5261		0.1093	0.9253		beta	

جدول (۸): برآورد پارامترهای ارزش فرین مدل EGARCH به روش GPD

lowerFit Par se	lowerFit Par ests	Threshold lower	upperFit Par se	upperFit Par ests	Threshold upper	پارامتر	نماد
0.0954	0.1327	-0.9383	0.1157	0.3793	1.1053	xi	اخابر
0.0529	0.4172		0.0838	0.6011		beta	
0.0885	0.1091	-1.0493	0.0845	0.0618	1.1332	xi	پارسان
0.0640	0.5381		0.0839	0.7233		beta	
0.1068	0.2863	-0.6912	0.1017	0.2293	1.0277	xi	پاکشو
0.0641	0.4813		0.1096	0.8448		beta	
0.0910	0.1031	-1.0942	0.1042	0.2680	1.2577	xi	تاپیکو
0.0518	0.4230		0.0731	0.5583		beta	
0.1101	0.3664	-0.7781	0.0893	0.1118	1.1465	xi	جم
0.0614	0.4611		0.0894	0.7468		beta	
0.1070	0.3365	-0.9310	0.1075	0.3464	1.0986	xi	حکشتی
0.0567	0.4332		0.0714	0.5451		beta	
0.0846	0.0434	-1.1926	0.0891	0.1017	1.3787	xi	خبهمن
0.0442	0.3775		0.0567	0.4728		beta	
0.0840	0.0423	-1.2548	0.0969	0.2064	1.2850	xi	خگستر
0.0332	0.2854		0.0402	0.3220		beta	

نماد	پارامتر	Threshold upper	upperFit Par ests	upperFit Par se	Threshold lower	lowerFit Par ests	lowerFit Par se
خودرو	xi	1.3445	0.3050	0.1058	-1.2180	-0.0002	0.0814
	beta		0.3158	0.0414		0.3466	0.0399
شاراک	xi	0.0103	0.0448	0.0831	-0.0197	0.2831	0.1024
	beta		0.0040	0.0005		0.0065	0.0008
شبریز	xi	1.3446	0.0228	0.0827	-1.1319	0.2229	0.0992
	beta		0.5731	0.0663		0.4123	0.0523
شبندر	xi	1.1970	0.2608	0.1036	-1.1270	0.1637	0.0960
	beta		0.4621	0.0603		0.4258	0.0536
شپدیس	xi	1.2046	0.2684	0.1006	-0.9505	0.0059	0.0800
	beta		0.6439	0.0813		0.5910	0.0667
شپنا	xi	1.2693	0.0564	0.0846	-1.1718	0.0450	0.0839
	beta		0.6042	0.0703		0.4220	0.0490
شخارک	xi	0.9978	0.6945	0.1370	-0.8225	0.4058	0.1140
	beta		0.4655	0.0693		0.3745	0.0509
شفن	xi	1.0801	0.4825	0.1210	-0.7653	0.2049	0.0987
	beta		0.4817	0.0677		0.4588	0.0583
شیراز	xi	1.1812	0.0258	0.0838	-0.9350	0.3078	0.1071
	beta		0.7444	0.0871		0.5062	0.0671
فارس	xi	1.1871	0.1458	0.0917	-0.9807	0.1243	0.0903
	beta		0.7885	0.0956		0.5307	0.0639
فخوز	xi	1.1172	0.1563	0.0938	-0.9928	0.3293	0.1082
	beta		0.6229	0.0768		0.4099	0.0544
فملی	xi	1.3051	0.2769	0.1029	-1.0386	0.2060	0.0975
	beta		0.5178	0.0667		0.4216	0.0529
فولاد	xi	1.2428	-0.0073	0.0797	-1.1099	0.2665	0.1021
	beta		0.6550	0.0741		0.3860	0.0495
کاما	xi	1.2766	0.2789	0.1017	-1.1747	-0.1193	0.0703
	beta		0.4181	0.0532		0.4314	0.0457
کچاد	xi	1.1376	0.2798	0.1041	-0.9080	0.2348	0.1008
	beta		0.6061	0.0789		0.3962	0.0508
کگل	xi	1.3590	0.0464	0.0852	-1.1052	-0.0562	0.0771
	beta		0.6952	0.0818		0.5280	0.0592
مبین	xi	1.1098	0.1372	0.0919	-0.9067	0.3547	0.1099

نماد	پارامتر	Threshold upper	upperFit Par ests	upperFit Par se	Threshold lower	lowerFit Par ests	lowerFit Par se
	beta		0.6218	0.0758		0.4199	0.0561
وبانک	xi	1.2207	0.1738	0.0937	-1.0154	0.1366	0.0910
	beta		0.6948	0.0850		0.4557	0.0550
وصندوق	xi	1.1847	0.2567	0.1029	-0.9105	0.2121	0.0996
	beta		0.7137	0.0927		0.4182	0.0535
وغدیر	xi	1.2833	0.1345	0.0900	-1.0765	0.2107	0.0963
	beta		0.6391	0.0763		0.3564	0.0441
ومعادن	xi	1.2494	0.1425	0.0942	-1.0669	0.1327	0.0937
	beta		0.6421	0.0801		0.4464	0.0556
همراه	xi	1.1311	0.1373	0.0902	-0.9127	0.1417	0.0908
	beta		0.9123	0.1091		0.4659	0.0560

پس از برآورد مقادیر فرین در بخش قبلی با در دست داشتن پارامترهای لازم توزیع حاشیه‌ای F_i برای داده‌ها به برآورد توابع کاپولای معرفی شده شامل کاپولای نرمال، کاپولای تی- استیودنت و همچنین مشخص کردن بهترین توابع کاپولا برای برآورد ساختار وابستگی برای هر دو ساختار کاپولای vine، در نهایت وارد پروسه بهینه‌سازی پرتفوی به صورت فعال می‌شویم.

لازم به ذکر است با توجه به در دست داشتن داده‌های روزانه از سال ۱۳۹۴ تا ۱۴۰۰ برای سری‌های زمانی مقدار ۸۵۰ روز اولیه به صورت داده‌های درون نمونه در نظر گرفته شده است و مقادیر پیش بینی واریانس ناهمسانی شرطی برای مابقی داده ها به عنوان خارج از نمونه انجام شده است. همچنین برای ارزیابی تابع ثروت انباشته در این پژوهش از ثروت انباشته هفتگی بهره‌گرفته شده است. بر این اساس با استفاده از رویکرد پنجره غلتان مقادیر بازدهی انباشت هفتگی محاسبه شده است تا بتوان توانایی مدلهای مختلف را از طریق تابع ثروت انباشت شده[1] مقایسه نمود.

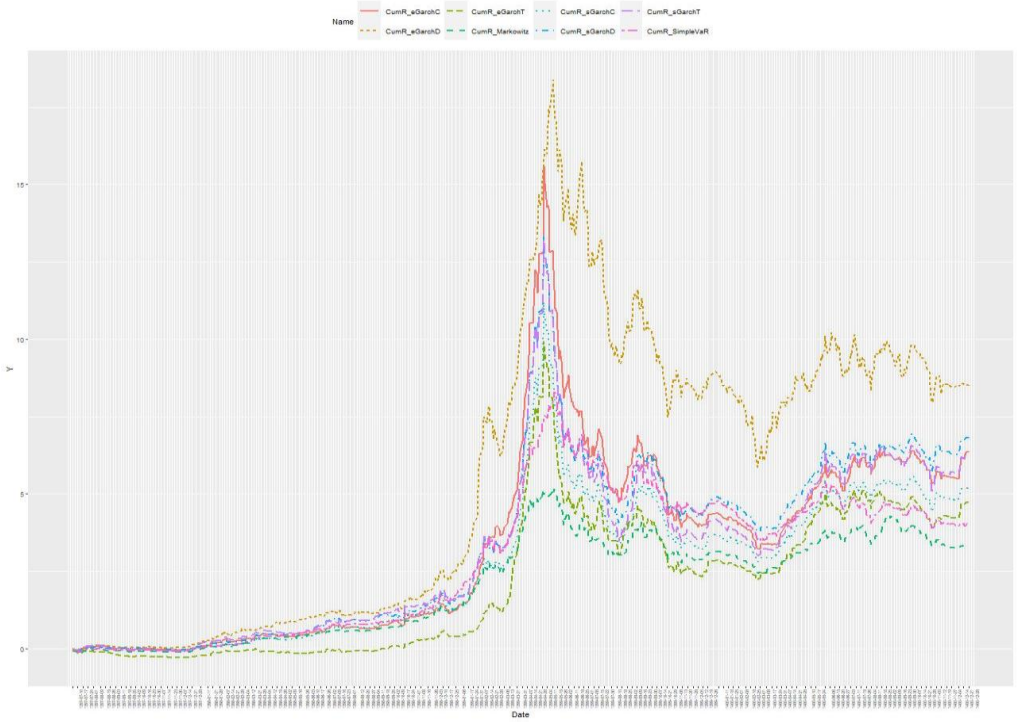
مدل‌های در نظر گرفته شده برای این بخش شامل موارد زیر است. لازم به ذکر است در ساختار Vine تمامی توابع کاپولای ارشمیدوسی، نرمال و t مطابق با بخش قبلی به صورت بهینه در توابع زوجی در نظر گرفته شده است. همچنین در این بررسی مدل یکسان کاپولای t با توجه به بهینه بودن آن و همچنین رویکردهای سنتی حداقل سازی واریانس و حداقل سازی ارزش در معرض ریسک شرطی نیز برای مقایسه مدل‌های مختلف لحاظ شده است.

- مدل ARMA-SGARCH-EVT-CVine Copula
- مدل ARMA-SGARCH-EVT-DVine Copula
- مدل ARMA-SGARCH-EVT-t Copula

[1] Accumulated wealth

- مدل ARMA-EGARCH-EVT-CVine Copula
- مدل ARMA-EGARCH-EVT-DVine Copula
- مدل ARMA-EGARCH-EVT-t Copula
- مدل حداقل سازی واریانس
- مدل حداقل سازی ارزش در معرض ریسک شرطی تاریخی

نمودار (۱) نشان دهنده تابع ثروت انباشته مدل‌های مختلف است که برای دوره خارج از نمونه برآورد شده است. همانطور که مشخص است، در این بررسی مدل با در نظر گرفتن ساختار vine نتایج بهتری را به همراه دارد و تابع ثروت انباشته بیشتری را حاصل نموده است. نتایج به خوبی نشان دهنده کارایی این مدل‌ها (مدلهای GARCH-EVT مبتنی بر تابع کاپولا در ساختار Vine) در بهینه‌سازی پرتفوی سهام است. این در حالی است که رویکردهای سنتی بدون در نظر گرفتن ساختار وابستگی و رویدادهای فرین عملکرد ضعیف‌تری را داشته‌اند. بدین ترتیب در پاسخ به سوال اصلی این پژوهش می‌توان بیان کرد که مدل ارائه شده GARCH-EVT-Vine Copula به خوبی می‌تواند در بهینه‌سازی سبد سهام در بورس اوراق بهادار مورد استفاده قرار گیرد.



نمودار(۱): تابع ثروت انباشته تمامی مدل‌های مورد بررسی

در بررسی نسبت‌های بدست آمده در جدول (۹) مشخص است که بازدهی در وزن‌دهی مجدد برای دوره خارج از نمونه برای مدلهای مختلف با در نظر گرفتن ساختار EGARCH-EVT-DVine Copula و بهره گیری از توابع کاپولای DVine در این ساختار ترکیبی در شرایط بهتری قرار دارد و در بهینه‌سازی موجب شده که بازدهی سالیانه بیشتری حاصل شود.

جدول (۹): مقایسه معیارهای پرتفویهای مختلف

مدل	بازدهی سالانه انباشت شده دوره خارج از نمونه	انحراف معیار دوره خارج از نمونه	نسبت بازدهی به انحراف معیار
EGARCH-EVT-DVine copula	8.54	4.75	1.80
SGARCH-EVT-DVine copula	6.84	2.86	2.39
EGARCH-EVT-CVine copula	6.39	3.08	2.07
SGARCH-EVT-t copula	6.29	2.71	2.32
SGARCH-EVT-CVine copula	5.23	2.35	2.22
EGARCH-EVT-t copula	4.74	2.25	2.10
min CVaR	4.13	2.31	1.79
min StdDev	3.37	1.62	2.08

منبع: نتایج پژوهش

همچنین اوزان بهینه مربوط به آخرین دوره نیز به صورت جدول زیر است:

جدول (۱۰)؛ مقایسه توزیع پرتفوهای مدلهای مختلف برای آخرین دوره برازش داده ها

	EGARCH-EVT-DVine copula	SGARCH-EVT-DVine copula	EGARCH-EVT-CVine copula	SGARCH-EVT-t copula	SGARCH-EVT-CVine copula	EGARCH-EVT-t copula	min CVaR	min StdDev
پاکشو		18.03%	22.42%		20.74%		37.39%	34.15%
جم	24.53%	32.71%	34.57%	9.05%	20.91%		16.94%	
خبهمن								17.00%
خگستر		20.68%	15.64%	39.82%	18.64%	29.58%	17.06%	
خودرو		13.68%		31.66%	19.17%	32.31%		
شاراک			15.52%					
شپنا						5.77%		
شفن		14.90%			20.55%			18.27%
شیراز								15.42%
کاما	16.95%							

min StdDev	min CVaR	EGARCH-EVT-t copula	SGARCH-EVT-CVine copula	SGARCH-EVT-t copula	EGARCH-EVT-CVine copula	SGARCH-EVT-DVine copula	EGARCH-EVT-DVine copula	
		10.27%					12.36%	کگل
	20.63%							مبین
		22.08%		10.38%			25.80%	وبانک
	7.98%							ومعادن
15.16%				9.09%	11.85%		20.36%	همراه

همانطور که از جدول فوق مشخص است، بر اساس روش‌های مختلف، پنج سهم برای سرمایه‌گذاری مشخص شده است.

نتیجه‌گیری

پژوهش حاضر به دنبال بررسی عملکرد رویکرد فعال در بهینه‌سازی پرتفوی سهام با استفاده از رهیافت GARCH-EVT-Vine Copula در محاسبه ارزش در معرض ریسک شرطی در ایران بوده و سعی داشته تا با جمع‌آوری داده‌ها از منابع اطلاعاتی نظیر کتابخانه‌ها، سایت‌ها و همچنین با استفاده از نرم‌افزارهای تخصصی به گرد آوری داده‌های آماری برای سال های ۱۳۹۴ تا ۱۴۰۰ بپردازد. در این راستا مدل کاربردی پژوهش طراحی گردید و سوال اصلی پژوهش براساس ادبیات و پیشینه پژوهش تدوین و مشخص شد.

در نظر گرفتن معیارهای ریسک دنباله‌ای و وقایع فرین در توزیع بازدهی‌ها در دهه اخیر بیش از پیش مورد توجه قرار گرفته و در زمینه بهینه‌سازی همچنان از پرکاربردترین مدلها محسوب می‌شوند. در ادبیات مالی پیرامون موضوع بهینه‌سازی سبد سهام، مفهوم وابستگی بین بازدهی‌های سهام مختلف موضوع با اهمیتی است که بر مسأله بهینه‌سازی تأثیرگذار است. در رویکردهای قبلی اکثر مطالعات بر توزیع مشترک بین بازدهی‌ها تاکید داشت. در ادبیات اقتصاد مالی یک رهیافت جایگزین برای مدل‌سازی ساختار وابستگی بین داده‌های چند متغیره، بدون تحمیل هرگونه فرضی بر توزیع‌های حاشیه‌ای، بر اساس توابع کاپولا پیشنهاد شده است که کاستی‌هایی همچون؛ ضریب همبستگی خطی، عدم تقارن و وابستگی دنباله‌ای در بین توزیع بازدهی‌های مالی را در نظر می‌گیرد. بنابراین در زمینه محاسبه ارزش در معرض ریسک سبد دارایی به جای ضریب همبستگی خطی از پارامتر کاپولا در ادبیات مالی در دهه اخیر بیشتر استفاده شده است.

هدف از این پژوهش، بهینه‌سازی سبد سهام بر اساس ارزش در معرض خطر شرطی با محدودیت کاردینالیتی و با امکان تغییر در اقلام سبد دارایی بوده است. در این مسیر با استفاده از روش‌های ناهمسانی واریانس شرطی تعمیم یافته و با معرفی مدل GARCH-EVT-Vine-Copula با استفاده از توابع کاپولا و با در نظر گرفتن مقادیر فرین و با امکان تغییر در دارایی‌های پرتفوی به بهینه‌سازی سبد سهام پرداخته شد و مدل مذکور با روش‌های مرسوم بهینه‌سازی سبد سهام سنجیده شد. مدل‌سازی بر اساس داده‌های بازدهی انتخابی ۵ شرکت در بین ۳۰ شرکت برتر بورسی در طی دوره 1394 تا 1400 صورت پذیرفت.

در مطالعاتی همچون کارماکر(۲۰۱۷)، هان و همکاران(۲۰۱۷) و سهام خادم و همکاران(۲۰۱۸) رویکردی ترکیبی جهت در نظر گرفتن همزمان واریانس ناهمسانی شرطی در بین بازدهی‌های بازارهای مالی، 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 ریسک شرطی شده و همچنین در بهینه‌سازی این تابع نیز نتایج در این مطالعات رأی به بهبود ارزش سبد سهام در بهینه‌سازی می‌دهد. نتایج حاصل از این پژوهش با نتایج مطالعات مذکور هماهنگ و هم راستا است.

نتایج نشان دهنده این واقعیت است که استفاده همزمان از روش‌های ناهمسانی واریانس شرطی تعمیم یافته با در نظر گرفتن مقادیر فرین و ساختار وابستگی بر اساس کاپولا بین سهام مورد بررسی، موجب بهبود در شناسایی و کاهش ریسک سبد سهام می‌شود و این مدل دارای قدرت و دقت بالاتری در پیش بینی و تخمین CVaR می‌باشد. بدین ترتیب در بررسی سبد دارایی موردنظر، سرمایه‌گذاران باید این مدل را مورد بررسی قرار دهند تا بتوانند با شناسایی دقیق ساختار وابستگی، از زیان‌های بزرگ جلوگیری نمایند.

نتایج این پژوهش نشان می‌دهد که ساختار مدل یاد شده در این پژوهش به خوبی می‌تواند در بهینه‌سازی سبد سهام با رویکرد حداقل مخاطره مورد استفاده قرار گیرد و نتایج نشان دهنده کارایی این مدل در بهینه‌سازی پرتفوی سهام است. همچنین در بین مدلهای معرفی شده، مدل EGARCH-EVT با در نظر گرفتن ساختار وابستگی برپایه تابع کاپولای D-Vine و استفاده از وابستگی ساختاری شرطی زوجی در شرایط بهتری به نسبت سایرین قرار دارد.

نتایج این تحقیق با توجه به واقعیات عینی در بازارهای مالی و رفتار سرمایه‌گذاران، برای پوشش کمترین ریسک موجود در پرتفوی بر اساس CVaR و داشتن حداکثر بازدهی مورد انتظار به خوبی راهگشا خواهد بود و سرمایه‌گذار می‌تواند با تعیین تعداد سهامی که مد نظر است در پرتفوی داشته باشد، میزان سرمایه‌گذاری خود در هر دارایی را مشخص نماید. همچنین با توجه به رویکرد وزن‌دهی مجدد در این ساختار، سرمایه‌گذار می‌تواند به صورت هفتگی یا هر دوره زمانی مورد نظر خود و بر اساس شرایط جدید بازار، نوع دارایی‌های سبد خود و همچنین میزان سرمایه‌گذاری در هر دارایی را تغییر دهد تا همواره ریسک سبد خود را در هر شرایطی تحت کنترل داشته باشد.

فهرست منابع

پویان فر، احمد؛ موسوی، سید حمید(۱۳۹۵). تخمین ارزش در معرض ریسک داده های درون روزی با رویکرد EVT-Copula، فصلنامه مدلسازی ریسک و مهندسی مالی، دوره ۱، شماره ۲، ص ۱۲۹- ۱۴۴.

پیش بهار، اسماعیل؛ عابدی، سحر(۱۳۹۶). محاسبه ارزش در معرض خطر پرتفوی: کاربرد رهیافت کاپیولا، فصلنامه مهندسی مالی و مدیریت اوراق بهادار، دوره ۸، شماره ۳۰، ص ۵۵- ۷۳.

تقوی فرد، محمد تقی؛ منصوری، طاها؛ خوش طینت، محسن (۱۳۸۶). ارائه یک الگوریتم فرا ابتکاری جهت انتخاب سبد سهام با در نظر گرفتن محدودیت های عدد صحیح، فصلنامه پژوهشهای اقتصادی، سال هفتم، شماره چهارم، ص ۴۹-۶۹.

راغفر، حسین ؛ آجورلو، نرجس(۱۳۹۵). برآورد ارزش در معرض خطر پرتفوی ارزی یک بانک نمونه با روش GARCH- EVT-COPULA، فصلنامه پژوهش‌های اقتصادی، دوره ۲۱، شماره ۶۷، ص ۱۱۳-۱۴۱.

عباسی، ابراهیم؛ گرکز، منصور؛ مقدسی، مطهره (۱۳۸۹). انتخاب و بهینه‌سازی سبد سهام با استفاده از الگوریتم ژنتیک بر اساس تعاریف متفاوتی از ریسک، فصلنامه مدیریت صنعتی دانشکده علوم انسانی دانشگاه آزاد اسلامی واحد سنندج، سال پنجم، شماره۱۱، ص ۱۱۵-۱۳۶.

فلاح، میرفیض؛ صادقی، امیر(۱۴۰۰). بهینه‌سازی پرتفوی با استفاده از رویکرد کاپولا و ارزش در معرض ریسک شرطی چند متغیره در بورس اوراق بهادار تهران، فصلنامه دانش سرمایه‌گذاری، دوره ۱۰، شماره ۴۰، ص ۲۰۵-۲۲۶.

فلاح، میر فیض؛ علی زاده، علی(۱۴۰۰). ارزیابی توان تبیین نظریه ارزش فرین(حدی) و مدل های کاپولا- گارچ در پیش بینی ارزش در معرض ریسک و ریزش موردانتظار پرتفوی در پرتفوی شرکتهای سرمایه‌گذاری بورس اوراق بهادار تهران، فصلنامه مهندسی مالی و مدیریت اوراق بهادار، دوره ۱۲، شماره ۴۶، ص ۳۴۰-۳۶۴.

فلاح پور، سعید؛ احمدی، احسان(۱۳۹۳). تخمین ارزش در معرض ریسک پرتفوی نفت و طلا با بهره مندی از روش کاپولا- گارچ، تحقیقات مالی، دوره ۱۶، شماره ۲، ص ۳۰۹-۳۲۶.

فلاح پور، سعید؛ باغبان، مهدی(۱۳۹۳). استفاده از کاپیولا -CVaR در بهینه‌سازی سبد سرمایه‌گذاری و مقایسه تطبیقی آن با روش Mean-CVaR ، فصلنامه پژوهش ها و سیاست های اقتصادی، دوره ۲۲، شماره ۷۲، ص ۱۵۵-۱۷۲.

فلاح پور، سعید؛ راعی، رضا؛ فدائی نژاد، محمد اسماعیل؛ مناجاتی، رضا(۱۳۹۸). ارائه مدلی جهت بهینه‌سازی فعال سبد سهام با استفاده از ارزش در معرض ریسک شرطی، کاربردی از رویکرد مدل های ناهمسانی واریانس شرطی بر اساس رویکرد الگوریتم DE، فصلنامه دانش سرمایه‌گذاری، دوره ۸، شماره ۳۰، ص ۳۷-۴۹.

قندهاری، مهسا؛ شمشیری، عظیمه؛ فتحی، سعید(۱۳۹۶). بهینه‌سازی سبد سهام بر مبنای روش‌های تخمین ناپارامتریک، فصلنامه مدیریت تولید و عملیات، دوره ۸، شماره ۱، ص ۱۷۵- ۱۸۴.

کشاورزحداد، غلامرضا؛ حیرانی، مهرداد(۱۳۹۳). برآورد ارزش در معرض ریسک با وجود ساختار وابستگی بین بازدهی‌های مالی: رهیافت مبتنی بر توابع کاپولا، مجله تحقیقات اقتصادی دانشگاه تهران، دوره ۴۹، شماره ۴، ص ۸۶۹-۹۰۲.

لله گانی، اسماعیل؛ زه تابیان، مصطفی(۱۳۹۷). بررسی امکان بهینه‌سازی سبد سرمایه‌گذاری با حداقل ساختن ارزش در معرض ریسک شرطی مبتنی بر مدل کاپولا و داده های شبیه‌سازی شده در بورس اوراق بهادار تهران، فصلنامه دانش سرمایه‌گذاری، دوره ۷، شماره ۲۶، ص ۱-۱۵.

Aas, K., Czado, C., Frigessi, A., & Bakken, H., (2009). Pair-Copula construction of multiple dependence. Insurance Mathematics and Economics,44(2),182-198.

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.

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.

Bruhn, P., Ernst, D., (2022). Assessing the Risk Characteristics of the Cryptocurrency Market: A GARCH-EVT-Copula Approach. Journal of Risk and Financial Management, 15(8), 1-28.

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.

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.

Embrechts, P., Lindskog, F., & McNeil, A., (2003).Modelling dependence with copulas and applications to risk management. In S. T. Rachev (Ed.), Handbook of heavy tailed distribution in finance, 329-384.

Han, Y., Li, P.,& Xia, Y., (2017). Dynamic robust portfolio selection with copulas. Finance Research Letters, 21, 190-200.

Hartmann, P., Straeman, S., de Vries, C.G., (2004). Asset market linkages in crisis periods. Review of Economics and Statistics, 86 (1), 313-326.

He, Z., (2020). Sensitivity estimation of conditional value at risk using randomized quasi-Monte Carlo.European Journal of operational Research, 298,229-242.

Huang, C., Chun-pin, H., (2015). Portfolio optimization with GARCH-EVT-Copula-CVaR Models. Banking and Finance Review, 1, 19-32.

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.

Kobayashi, K., Takano, Y., & Nakata, K., (2021). Bilevel cutting-plane algorithm for cardinality-constrained mean-CVaR portfolio optimization. Journal of Global Optimization, 81, 493–528

Krzemienowski, A., Sylwia, S., (2016). Portfolio optimization with a copula-based extension of conditional value-at-risk. Annals of Operations Research, 237 (2), 219-236.

Kurowicka, D., (2011). Optimal truncation of vines. In: Kurowicka, D., Joe, H. (Eds.), Dependence Modeling: Handbook on Vine Copulae. World Scientific Publishing, 233-247.

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.

Sahamkhadam, M., Stephan, A., & Östermark, R., (2018). Portfolio optimization based on GARCH-EVT-Copula forecasting models. International Journal of Forecasting, 34 (3), 497-506.

Sklar, A., (1959). Fonctions de r´epartition `a n dimensions et leurs marges. Publications de l'Institut Statistique de l'Universit´e de Paris, 8, 229-231.

Song, P. X.-K., (2000). Multivariate dispersion models generated from Gaussian copula.Scandinavian Journal of Statistics, 27(2),305-320.

Financial Economics
Vol. (15) Issue (60) Winter 2026

Comparison of the Combined GARCH-EVT-Vine-Copula Model in Optimizing the Portfolio of Financial Assets in the Stock Market Compared to Conventional Models with the Possibility of Changing Portfolio Assets

Abdullah Alishavandi
Department of Financial Management, Central Tehran Branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran.
alishavandi@gmail.com

Mehrzad Minouei
Department of Industrial Management, Central Tehran Branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran.
(Corresponding Author)
minouei.mehrzad1401@gmail.com

Mirfaiz Fallah
Department of Financial Management, Central Tehran Branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran.
fallahshams@gmail.com

Gholamreza Zomorodian
Department of Financial Management, Central Tehran Branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran.
gh.zomorodian@gmail.com

Abstract
The aim of this research is to present the optimization model of the portfolio of financial assets in the stock market based on conditional value at risk (CVaR) as a measure of portfolio risk with the possibility of changing the portfolio items. In this research, using the generalized methods of autoregressive conditional variance heterogeneity (GARCH) for the time series of returns and to examine the structure of the distribution of residuals from Frein Value Theory (EVT) and to examine the structure of interdependence between time series from the Vine Copula approach. used. The GARCH-EVT-Vine-Copula model was introduced in order to optimize the stock portfolio and minimize the value under conditional risk. Reweighting method and rolling window have been used to check the efficiency and compare different models. Modeling has been done based on yield data based on the selected model for 5 companies among the top 30 listed companies during the period of 2015 to 2022 with the condition that the 5 selected companies in the asset portfolio are not known in advance and the optimization result in the model, choose 5 companies from among the top 30 listed companies. The results showed that the use of Frein values and structural dependence between time series improves the risk identification between these markets according to their dependence structure. Among the various models introduced in this research based on the accumulated wealth function, the EGARCH-EVT model is in a higher position considering the dependence structure based on the D-Vine copula function.
Keywords: Conditional Value at Risk, Portfolio Optimization, Extreme Value Theory, Copula Functions.