فصلنامه مهندسی مالی و مدیریت اوراق بهادار
شماره چهل و هفتم / تابستان ۱۴۰۰

بهینه‌سازی سبد سهام با معیارهای MAD و CVaR با مقایسه روش‌های کلاسیک و فراابتکاری

محمدرضا حدادی[۱]
یونس نادمی[۲]
فاطمه طافی[۳]

تاریخ دریافت مقاله : ۹۹/۰۷/۱۳ تاریخ پذیرش مقاله : ۹۹/۰۹/۲۳

چکیده

انتخاب سبد بهینه سهام از اهداف اصلی مدیریت سرمایه است. معیارهای متعددی برای اندازه‌گیری ریسک سبد سرمایه‌گذاری و انتخاب سبد بهینه ارائه شده است. در این مقاله، با استفاده از داده‌های ۱۰ سهم که با روش نمونه‌گیری تصادفی ساده از بورس اوراق بهادار تهران انتخاب شده‌اند که شامل ونوین، وخارزم، سغرب، شپنا، وپترو، دانا، خساپا، شکربن، شدوص و خاهن هستند، ابتدا بازده این سهام را به صورت ماهانه محاسبه کرده و با استفاده از مدل‌های انحراف‌مطلق و ارزش در معرض خطر، ریسک سبد بهینه سرمایه‌گذاری آن‌ها محاسبه می‌شوند و این دو معیار از روش حل کلاسیک با هم مقایسه می‌شوند. خروجی بهینه‌سازی سبد با هریک از این ریسک‌ها وزن متفاوتی از هر سهم را نشان می‌دهد. در بهینه‌سازی با معیار ریسک انحراف مطلق، سهم دانا بیشترین وزن و در بهینه‌سازی با معیار ریسک ارزش در معرض خطر سهم سغرب، شپنا وشکربن بیشترین وزن را دارا هستند. در ادامه مدل‌های ریسک انحراف‌مطلق و ارزش در معرض خطر از روش فراابتکاری NSGA2 با هم مقایسه می‌شوند. نتایج نشان می‌دهد، روش فرا ابتکاری NSGA2 در مقایسه با روش کلاسیک در حل مسئله بهینه‌سازی سبد ریسک بیشتری را هم در معیار MAD و هم در معیار CVaR به نمایش گذاشت و لذا روش بهتری برای حل چنین مسائل بهینه سازی سبد می‌باشد.

کلمات کلیدی

بهینه‌سازی غیرخطی، ارزش در معرض خطر، ارزش در معرض خطر شرطی، مدل مارکویتز

۱-گروه ریاضی مالی، دانشگاه آیت الله بروجردی، بروجرد، ایران.haddadi.math@gmail.com
۲-گروه اقتصاد، دانشگاه آیت الله بروجردی، بروجرد، ایران.(نویسنده مسئول)younesnademi@abru.ac.ir
۳-گروه ریاضی مالی، دانشگاه آیت الله بروجردی، بروجرد، ایران.f.tafi@abru.ac.ir

مقدمه

سرمایه‌گذاری یکی از مهم‌ترین مباحث مطرح در اقتصاد همه‌ی کشورهاست و از اهمیت بالایی برخوردار است. در چند سال اخیر، حرکت افراد و نهادها به سمت سرمایه‌گذاری در بازارهای مالی و به طور خاص، بورس اوراق بهادار رشد محسوسی داشته است. دیگر افراد به جای اینکه پول خود را صرف خرید زمین و مسکن و... کنند، بیشتر به دنبال خرید سهام می‌باشند تا بتوانند سرمایه‌گذاری موفقی داشته باشند. در بین شیوه‌های مختلف سرمایه‌گذاری که در مقابل سرمایه‌گذاران قرار دارد، انتخاب بازار سرمایه به عنوان محلی برای سرمایه‌گذاری جذابیت ویژه‌ای را برای سرمایه‌گذاران به همراه دارد. در اغلب کشورهای توسعه‌یافته بورس اوراق بهادار به عنوان هسته مرکزی بازار سرمایه محسوب می‌شود. این بازارها می‌توانند درمواردی مانند کاهش‌تورم، افزایش‌اشتغال و تولیدتاثیر ملموسی را بر اقتصادکشور داشته باشند. بورس مکانی است که درآن سهام شرکت گوناگون تولیدی، خدماتی و سرمایه‌گذاری داد و ستد می‌شود. مردم به بورس، بازار سهام هم می‌گویند اما نام رسمی و قانونی آن "بورس اوراق بهادار" می‌باشد.

تشکیل سبد شامل چند سهام مختلف سبب می‌شود که ریسک سرمایه‌گذاری کاهش یابد و سود سرمایه‌گذاری بیشتر شود. بازده و ریسک را می‌توان به عنوان دو متغیر تاثیرگذار در سرمایه‌گذاری و بدون شک مهم‌ترین آنها به‌شمار آورد. از طرف دیگر، به خاطر وجود نوسان در بازارهای مالی مانند بورس، سرمایه‌گذاری با نبود اطمینان و ریسک همراه خواهد بود. لذا انتخاب سبدی که ریسک کمتر و بازده بالاتر داشته باشد و هم‌چنین اندازه‌گیری ریسک سبد برای سرمایه‌گذاران از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. در این بین تعیین یک سنجه ریسک مناسب که بتواند ریسک ناشی از سرمایه‌گذاری را در یک سرمایه‌گذاری با یک مقدار نزدیکتر به واقعیت نشان دهد مورد توجه بسیاری از موسسات و نهادهای مالی و سرمایه‌گذاران است.

مفاهیم بهینه‌سازی سبد سهام و تنوع‌بخشی به مثابه ابزاری در راستای توسعه و فهم بازارهای مالی و تصمیم‌گیری مالی درآمده‌اند. انتشار نظریه پرتفوی سهام هری مارکویتز اصلی‌ترین و مهم‌ترین موقعیت در این راستا بود. مارکویتز پیشنهاد کرد که سرمایه‌گذاران ریسک و بازده را توأما در نظر بگیرند و میزان تخصیص سرمایه بین فرصت‌های سرمایه‌گذاری گوناگون را بر اساس تعامل بین این دو انتخاب نمایند. بنابراین سرمایه‌گذاری که در پی حداکثر نمودن بازده مورد انتظار و حداقل کردن ریسک است این دو هدف متضاد را پیش رو دارد که بایستی در برابر یکدیگر، موازنه گردند. یکی از نتایج جالب‌توجه این دو هدف متضاد، این است که سرمایه‌گذار بایستی از طریق خرید چندین نوع اوراق بهادار، تنوع‌بخشی نماید. از طرف دیگر مدیران سرمایه‌گذاری به دلیل پیچیدگی مدیریت، سیستم قوانین و مقررات و سیاست‌های

شرکت‌های مدیریت دارایی در چارچوب بازارهای مالی محدودیت‌هایی را بر مجموعه دارایی بهینه خود اعمال‌می‌کنند که این امر موجب غیرخطی شدن مدل و پیچیده‌تر شدن مسئله می‌شود. در حالت کلی با در نظر گرفتن اینکه مدل مارکویتز از نوع مسائل تصمیم‌گیری چندهدفه و به‌طور مشخص دو هدفه است که در آن ضوابط تصمیم‌گیری، یعنی کاهش ریسک و افزایش بازده سبد سهام با یکدیگر متضاد هستند.

پیشینه پژوهش و مبانی نظری

پیشینه پژوهش

پژوهشگران داخلی و خارجی زیادی، بهینه‌سازی سبد سهام را مورد بررسی قرار دادند. مساله بهینه-سازی سبد سهام ابتدا توسط مارکویتز[۱] در سال ۱۹۵۲، بنا نهاده شده که بعدها توسط محققان زیادی نواقص آن برطرف شد و تکمیل گردید. لین[۲] و لیو[۳]، در سال ۲۰۰۸، مدل مارکویتز را با محدودیت حداقل نمودن مقدار خرید به سه طریق ارائه نمودند. الگوریتم‌های ژنتیکی که برای حل مسأله انتخاب سهام پیشنهاد می‌شوند، به وسیله مدل‌ها فرمول‌بندی شدند. نتایج مطالعات نهایی نشان داد که الگوریتم ژنتیک برای این مدل‌ها می‌توانند نقطه نزدیک به بهینه درحداقل زمان قابل قبول را به دست آورند. راه‌حل‌های بدست آمده نه تنها قابل اجرا در عمل می‌باشند، بلکه بالاترین کارایی میانگین-واریانس را به نمایش می‌گذارند. مدلی که شیوه‌تصمیم‌گیری چند منظوره فازی را معرفی‌می‌کند، به خاطر تطبیق‌پذیری و سادگی زیاد آن پیشنهاد می‌شود. با این شیوه تصمیم‌گیرنده قادر خواهد بود ترجیحات خود در خصوص ریسک و بازده را با اختصاص وزن‌هایی به ریسک و بازده اعمال نماید. بررسی سرمایه‌ها و دارایی‌ها نه تنها در زمان محاسبه صرفه‌جویی می‌کند، بلکه باعث می‌شود کیفیت جواب نیز بهبود یابد[۱۰].

گانگ[۴] و همکارانش در سال ۲۰۱۰، با استفاده از روش ناپارامتری EL به محاسبه CVaR در مدل‌های ARCH/GARCH پرداختند. این مدل کاستی‌های مدل‌های پیشین را ندارد و نیاز به محاسبه بعضی از پارامترها از قبیل واریانس مجانبی نیست. مدل به کارگرفته شده در این پژوهش مدل ارائه شده توسط گانگ و همکارانش است[۲۰].

مون[۵] و یائو[۶] مدل استوار میانگین انحراف مطلق را با استفاده از رویکرد برتسیماس و سیم در سال ۲۰۱۱، مورد مطالعه قرار دادند[۲۱].

کای چائو[۷] و همکارانش در سال ۲۰۱۱، از الگوریتم NSGA2 برای بررسی میزان اثربخشی یک طرح اجراشده در جنوب شرق پکن در محدوده شهر جدید تانگژو استفاده‌کردند[۱۹].

انوکسون[۸] و اسکواگ[۹] در سال ۲۰۱۱، در مقاله‌ای با عنوان «تخمین ارزش در معرض ریسک با

استفاده از مدل‌های خانواده ARCH/GARCH » به شناسایی مدل مناسب برای تخمین ارزش در معرض ریسک برای برخی از نرخ‌های ارز شامل دلار امریکا، پوند انگلیس و ین ژاپن پرداختند[۱۱].

در سال ۲۰۱۴، مانیسی[۱۰] ، اوگریکزاک[۱۱] و اسپرانزا[۱۲] توانستند برای بهینه‌سازی پورتفولیو، برنامه‌نویسی خطی ارائه دهند که در مقاله‌ای با عنوان «بیست سال از برنامه‌نویسی خطی مبنی بر بهینه‌سازی پورتفولیو» به ثبت رساندند[۱۲].

آئونی[۱۳]، کولاپینتو[۱۴] و لاتوره[۱۵] در سال ۲۰۱۴ در مقاله‌ای با عنوان «مدیریت مالی پورتفولیو از میان مدل برنامه‌نویسی هدف» به بیان راه‌کارهای مدیریتی مناسب برای سبد سهام پرداختند[۱۳].

ساباریدو[۱۶] و همکارانش از یک مدل میانگین ریسک نامطلوب با در نظر گرفتن چولگی بازدهی برای انتخاب سبد سهام استفاده کردند. آن‌ها همزمان متوسط بازدهی، ریسک نامطلوب و چولگی سبد سهام را بهینه کردند و محدودیت‌های بودجه و محدودیت‌های آستانه را در نظر گرفتند[۱۴].

لیو و ژانگ[۱۷] از یک تکنیک تصمیم‌گیری فازی برای بیان ترجیحات سرمایه‌گذاران استفاده کردند و یک مدل میانگین نیم‌واریانس چند دوره‌ای با در نظر گرفتن دسته‌های معاملاتی را در چهارچوب تئوری برنامه‌ریزی امکانی توسعه دادند[۱۵].

گو[۱۸] و همکارانش در سال ۲۰۱۶، یک مسئله برنامه‌ریزی چندهدفه فازی با در نظر گرفتن افق‌های سرمایه‌گذاری مختلف را در چهارچوب تئوری برنامه‌ریزی امکانی توسعه دادند. آن‌ها یک مدل میانگین-واریانس با هدف حداکثرسازی بازدهی نهایی را فرمول‌بندی کردند[۱۶].

کین[۱۹] در سال ۲۰۱۷، از متغیرهای فازی تصادفی برای بررسی بازدهی تصادفی دارایی‌های با اطلاعات مبهم استفاده کرد. وی انحراف مطلق متغیر فازی تصادفی را تعریف و سپس از آن‌ها به عنوان شاخص ریسک در مدل‌های بهینه‌سازی سبد سهام مبتنی بر میانگین انحراف‌مطلق استفاده کرد[۱۷].

لیو و ژانگ در سال ۲۰۱۷، یک مدل میانگین نیم‌واریانس امکانی برای انتخاب سبد سهام فازی با در نظر گرفتن هزینه معاملاتی متغیر و ثابت، محدودیت‌های آستانه سرمایه‌گذاری و حداقل دسته معاملاتی پیشنهاد کردند[۱۸].

علی‌پور جورشری در تحقیقات خود در سال ۱۳۹۵، با عنوان «بهینه‌سازی سبد سهام با رویکرد بخش‌بندی بازار سهام» آورده‌اند که بهینه‌سازی سبد سهام با بهره‌گیری از سه رویکرد اصلی بهینه‌سازی سبد سهام بر مبنای بازده، استفاده از جدول کارایی متقاطع بدون انجام بخش‌بندی و استفاده از جدول کارایی متقاطع با بخش‌بندی بازار، انجام گرفته است. جهت مقایسه رویکردها و روش‌ها از معیار شارپ

استفاده شده است[۴].

رضایی و همکارانش در سال ۱۳۹۶، از افت سرمایه در معرض خطر مشروط به عنوان مقیاس ریسک استفاده و با استفاده از استوارسازی برتسیماس و سیم، عدم قطعیت داده‌ها را رفع نمودند. آنها به مدلی رسیدند که بهترین سبد سهام را در بدترین حالت نوسان داده‌ها ارائه می‌دهد و در صورت افزایش سطح محافظه‌کاری، مقدار تابع هدف نیز افزایش می‌یابد[۲].

شاه‌مرادی کیاکلایه، در تحقیقات خود در سال ۱۳۹۶، با عنوان «مدل میانگین انحراف مطلق برای بهینه‌سازی سبد سهام» مدل میانگین انحراف مطلق برای انتخاب سبد سهام بهینه را مورد بررسی قرار می‌دهد. نظر به غیر قطعی بودن داده‌ها در بازارهای مالی، یک نسخه بهبودیافته استوار آن بر مبنای استوارسازی برتسیماس و سیم ارائه می‌شود. سپس مدل استوار مسأله تحت مجموعه عدم قطعیت چندوجهی همبسته مطالعه و مدل معادل آن ارائه می‌شود. عملکرد مدل‌های استوار بهبودیافته و همبسته در مقایسه با مدل قطعی روی داده‌های واقعی بررسی می‌شود. نتایج نشان می‌دهد مدل‌های استوار در مقایسه با مدل قطعی دارایی عملکرد بهتری است. علاوه بر این، وقتی همبستگی بین ضرایب غیرقطعی زیاد باشد، مدل استوار همبسته دارای عمکرد بهتری در مقایسه با مدل استوار بهبودیافته است و در حالتی که همبستگی بین ضرایب غیرقطعی کم باشد، دو مدل استوار دارایی عملکردی مشابه هستند[۸].

نشاطی‌زاده نیز، در شهریور ۱۳۹۷ در تحقیقات خود با عنوان «بهینه‌سازی سبد سهام با استفاده از الگوریتم‌های متاهیوریستیک با در نظر گرفتن محدودیت حداقل و حداکثر از هر سهم» آورده است که بهینه‌سازی سبد سهام یکی از مسائل مهم در حوزه مالی و سرمایه‌گذاری است و کاربردهای فراوانی در برنامه‌ریزی‌ها و تصمیم‌گیری‌های مالی دارد[۵].

فرخ و فلاح در خرداد ۱۳۹۸ در تحقیقات خود با عنوان «توسعه یک مدل برنامه‌ریزی امکانی چندهدفه برای انتخاب سبد سهام» بیان می‌کنند که برای کنترل بازده فازی سبد، یک مدل برنامه‌ریزی امکانی چند هدفه جدید برای حداکثرسازی ممکن‌ترین مقدار بازدهی، حداقل‌سازی ریسک نامطلوب و حداکثرسازی ریسک مطلوب توسعه داده شده و از دو رویکرد متفاوت برای تبدیل آن به مدل تک‌هدفه استفاده شده‌است. نتایج حاصل از بررسی عملکرد مدل پیشنهادی با استفاده از داده‌های مارکویتز و بورس اوراق بهادار تهران نشان می‌دهد که این مدل قادر است با بهینه‌سازی همزمان بازده و ریسک، سبد سهام مناسب را با توجه به گرایش‌ها و استراتژی‌های مختلف سرمایه‌گذاران ارائه دهد[۶].

مبانی نظری

– سبدسهام ترکیبی ایده‌آل از سهام یا دارایی‌هاست که یک سرمایه‌گذار آنها را خریداری نموده است.

– برنامه‌ریزی خطی یا همان بهینه‌سازی خطی روشی است که به کشف مقدار کمینه یا بیشینه از یک تابع خطی روی یک چندضلعی محدب می پردازد.

– در ادبیات مالی ریسک را می‌توان به صورت رویدادهای غیرمنتظره که معمولاً به صورت تغییر در ارزش دارایی‌ها یا بدهی‌ها می‌باشد تعریف نمود.

– برای‌متغیرتصادفی $Y \in L^1$ ارزش درمعرض خطرشرطی $CVaR_{1-\alpha}(Y)$ به‌صورت زیربیان می‌شود:

$$CVaR_{1-\alpha}(Y) = \frac{1}{\alpha}\int_0^{\alpha} VaR_{1-\alpha}(Y(t))dt.$$

ممکن است $CVaR_{1-\alpha}(Y)$ به این شکل هم نشان داده شود[۱۲]:

$$CVaR_{1-\alpha}(Y) = Max\{-E(YZ); 0 \le Z \le 1/\alpha \ , E(Z) = 1\}$$

که α اسکالری بین صفر و یک می‌باشد.

فرضیه‌های پژوهش

۱- سبد بهینه ایجاد شده در روش CVaR با روش MAD یکسان است.

۲- روش کلاسیک جوابگوی سبد بهینه برای بازدهی پایین نیست.

۳- روش فراابتکاری در مقایسه با روش کلاسیک، سبد بهینه‌تری را معرفی می‌نماید.

روش تحقیق

در این پژوهش به بررسی سبد بهینه با معیارهای ریسک انحراف مطلق و ارزش در معرض خطر شرطی پرداخته می‌شود. برای این کار از دو الگوریتم مؤثر و پرکاربرد کلاسیک و NSGA2، جهت حل مدل بهینه‌سازی سبد سهام متشکل از شرکت‌های پذیرفته‌شده در بورس اوراق بهادار تهران، به‌کار گرفته شده‌اند و در نهایت به مقایسه این دو الگوریتم پرداخته می‌شود. از آنجایی‌که هدف از یک سرمایه‌گذاری داشتن حداکثر بازدهی و حداقل ریسک است، لذا یک مدل بهینه‌سازی، با هدف بیشینه‌کردن سود و بر اساس ریسکی معین به کار گرفته شده است.

- مدل میانگین انحراف مطلق

یک مدل برنامه‌ریزی خطی است، که برای تعیین سبد سهام بهینه به محاسبه ماتریس کواریانس دارایی‌ها نیاز ندارد. در واقع این مدل به جای تفاوت توان دوم بازده‌ها از انحراف مطلق بازده‌ها برای تعیین سبد استفاده می‌کند. مدل میانگین-انحراف مطلق کونو و یامازاکی به صورت زیر است[۴]:

$$min \frac{1}{T}\sum_{t=1}^{T}\sum_{j=1}^{N}\left|(r_{jt}-r_j)x_j\right|$$

s.t

$$\sum_{j=1}^{n} r_j x_j \geq \rho C$$

$$\sum_{j=1}^{n} x_j = C$$

$$0 \leq x_j \leq u_j$$

$$j = 1,2,\dots,n$$

که در آن:

x_j میزان دارایی jام در سبد سهام

Tطول بازه زمانی

t هر دوره از بازه زمانی؛ $t = 1,2,\dots,T$

ρ حداقل بازده مورد انتظار سرمایه‌گذار

R_j متغیر تصادفی نشان‌دهنده مقدار بازده دارایی

r_j بازده مورد انتظار $\left(E[R_j]\right)$ مربوط به دارایی jام

r_{jt} بازده مشاهده شده‌ی دارایی jام در طول دوره t

u_j ماکزیمم مقدار دارایی jام

C کل دارایی در دسترس

n تعداد کل سهام

- مدل ارزش در معرض خطر شرطی (CVaR)

معیار دیگری که به آن اشاره ممی‌شود یکی دیگر از ابزارهای مهم اندازه‌گیری ریسک یعنی ارزش در معرض خطر شرطی(CVaR) است. مدل میانگین-ارزش در معرض خطر شرطی، یک مدل بهینه‌سازی است که پرتفولیوهایی با حداقل ارزش در معرض خطر شرطی و حداکثر بازدهی انتظاری را ارائه می‌کند[۲]. CVaR، با توجه به تغییرات پیش‌روی بازار در طی دوره‌های زمانی بعدی، مشروط بر تغییرپذیری و اطلاعات جاری بازار مربوط به پورتفوی موجود محاسبه می‌گردد. از طرفی روش درست‌نمایی تجربی، پایایی و قابلیت اطمینان روش‌های ناپارامتری را با قابلیت اطمینان و کارایی رویکرد درست‌نمایی ترکیب می‌کند و امکان استفاده از روش‌های ناپارامتری درست‌نمایی را بدون فرض خاصی در مورد توزیع داده‌ها برای تحلیل‌گران داده فراهم می‌آورد. روش‌های مبتنی بر درست‌نمایی بسیار مؤثرند و می‌توانند برای پیدا کردن تخمین‌های کارا و تست‌های قدرتمند استفاده شوند[۷].

ارزش در معرض خطر شرطی بیانگر مقدار زیان در طی یک دورهٔ N روزه است مشروط به اینکه ما به اندازه $(100 - X)$ درصد در قسمت برآمدگی چپ منحنی توزیع قراردادیم. برای مثال با X =99 و N =10 ، CVaR بیانگر متوسط مبلغی است که ما در طول یک دوره ۱۰روزه از دست می‌دهیم با فرض اینکه آن یک درصدبدترین حالت به وقوع بپیوندد[۱۷]. ارزش درمعرض خطر شرطی درواقع بیانگر این است که در بدترین حالت سرمایه‌گذاری زیان چقدر خواهد بود. در یک سطح اطمینان معین ارزش در معرض خطر شرطی برابر میانگین سطح زیر منحنی که بیشتر از ارزش در معرض خطر است، می‌باشد. حال می‌توان مساله بهینه‌سازی میانگین-ارزش در معرض خطر شرطی را با استفاده از مدل زیر حل کرد:

$$\min \ CVaR_{\beta(x)} = \frac{1}{1-\beta} \int_{f(x,r)\geq VaR_{\beta(x)}} f(x,r)p(r)dr$$

$$s.t. \quad \bar{r}\ 'x \geq r_{Expected}\ ,$$

$$e'x = 1, x \geq 0.$$

- روش کلاسیک

این روش که روش تجزیه نیز نامیده می‌شود، اغلب مسئله چند هدفه را به یک مسئله تک هدفه تبدیل می‌کند به دلیل دستیابی به تنها یک جواب بهینه در هر مرحله شبیه‌سازی، عدم یافتن همه جواب‌های بهینه در بهینه‌یابی چند هدفه نامحدب و نیاز به اطلاعاتی راجع به مسئله مانند وزن‌های مناسب، سطوح آرمان و نقاط ضعف دارند.

- روش NSGA2

امروزه الگوریتم ژنتیک یکی از روشهای متاهیورستیک بسیار رایج در حل مسائل بهینه سازی ترکیبی به شمار می‌رود. این الگوریتم فرایند تکامل تدریجی در طبیعت را به وسیله ترکیبی از الگوهای مختلف انتخاب، پیوند، جهش و جایگزینی شبیه سازی می‌کند. الگوریتم ژنتیک به عنوان یکی از کاراترین و موثرترین روش‌های حل مسائل پیچیده بهینه‌سازی ترکیبی شناخته شده و در سالهای اخیر بسیار مورد توجه پژوهشگران قرار گرفته است. الگوریتم ژنتیک یکی از الگوریتم‌های ابتکاری است که می‌تواند مسائل بهینه‌سازی سبد سهام را با کارایی بالا انجام دهد. مسأله انتخاب سبدهای سهام آن قدر پیچیده هستند که روشهای حل فعلی در برابر آن دقیق نبوده، از این رو استفاده از الگوریتم‌های ابتکاری برای حل آنها مورد توجه قرار گرفته و توسعه یافته است. الگوریتم ژنتیک مرتب شده غیرتسلطی یا NSGA2، در هر مرحله محاسباتی مجموعه‌ای از نقاط ایجاد می‌نماید. بهترین نقطه در جمعیت به جواب بهینه میل می‌کند. جمعیت نسل بعد، با محاسباتی که از اعداد تصادفی استفاده می‌کند مشخص می‌شود. می‌توان از الگوریتم ژنتیک برای حل مسائل مختلف بهینه‌سازی که الگوریتم‌های استاندارد بهینه‌سازی برای حل آن‌ها مناسب نیست، استفاده کرد. در این تحقیق در کنار روش کلاسیک از الگوریتم NSGA2 استفاده شده‌است که ذاتا الگوریتم گسترده‌ای است و همچنین اجرای این الگوریتم مدت زمان کمتری طول می‌کشد. از دیگر مزیت‌هایی که NSGA2 نسبت به روش‌های مسائل تک‌هدفه مثل مجموع وزن‌دار دارد این است که علاوه بر حل مسئله به‌صورت چندهدفه قابلیت ارائه سناریوهای مختلف و قابلیت نمایش جبهه‌ی جواب و تحلیل این جبهه را داراست ولی تصمیم‌گیر نیاز به دانش بیشتری برای انتخاب از بین گزینه‌های ارائه شده دارد. الگوریتم NSGA2 به صورت کمینه‌سازی در نظر گرفته شده‌است. در اینجا هدف کمینه‌سازی ریسک سرمایه‌گذاری می‌باشد.

- **پس آزمایی مدل**

بعد از ایجاد مدل و قبل از اینکه در عمل مورد استفاده قرار گیرد، اعتبار آن باید به دقت بررسی شود. پیش آزمایی فرآیندی است که عملکرد روش محاسبه ریسک را مورد ارزیابی قرار می‌دهد. در این پژوهش، از آزمون‌های کوپیک استفاده می‌شود که در ادامه به توضیح آن می‌پردازیم.

پیش از محاسبه ارزش در معرض ریسک ضروری است تا آزمون راست آزمایی و اطمینان برای این‌که آیا مدل VaR به کار گرفته‌شده به میزان کافی ریسک واقعی حدی را نشان می‌دهد یا خیر، انجام شود. برای این منظور، معمولاً آزمون اطمینان که توسط کوپیک (۱۹۹۵) معرفی‌شده، به کار گرفته می‌شود.

برای انجام آزمون کوپیک از آماره نسبت راست‌نمایی LR_{PoF} استفاده می‌شود که دارای توزیع کای دو است. فرمول این آزمون به صورت زیر است.

$$LR_{PoF} = 2ln\left(\frac{V^f(1-V)^{T-f}}{\alpha^f(1-\alpha)^{T-f}}\right)$$

در رابطه فوق، f بیانگر تعداد شکست‌ها یا تعداد دفعاتی است که زیان واقعی از زیان برآورد شده توسط VaR بزرگ‌تر است. T نیز بیان‌گر پیش‌بینی‌های انجام‌شده توسط مدل VaR، V نسبت شکست و α سطح خطا یا معنی‌داری است. پس از محاسبه مقدار آماره نسبت راست نمایی، مقدار آماره آزمون با مقدار بحرانی مقایسه شده و درصورتی‌که مقدار آماره LR بزرگ‌تر از مقدار بحرانی باشد، فرضیه صفر مبنی بر مناسب بودن مدل VaRدر سطح معناداری موردنظر تائید شده و درنتیجه نتایج مدل قابل استناد و مناسب است [۹].

یافته‌های پژوهش

در این پژوهش، ابتدا ۱۰ سهم از بازار بورس ایران با روش نمونه‌گیری تصادفی ساده انتخاب شد که شامل ونوین، وخارزم، سغرب، شپنا، وپترو، دانا، خساپا، شکربن، شدوص و خاهن می‌باشند. این داده‌ها در بازه زمانی۴ساله از مورخ۹۵/۴/۲۴ تا ۹۸/۹/۲۴می‌باشند که به‌صورت ماهانه در تاریخ ۲۴ام هرماه محاسبه شده‌است که با توجه به بازه زمانی و تعداد ماه‌هایی که داده مورد استفاده قرار گرفته،۴۱ می‌باشد.

قبل از پرداختن به محاسبات اصلی، پایایی بازدهی سهام این ۱۰ سهم با استفاده از آزمونهای ریشه واحد آزمون شده است که نتایج این آزمون به شرح جدول زیر بدست آمده است:

جدول ۱- نتایج آزمون ریشه واحد دیکی فولر تعمیم یافته (ADF)

نام متغیر	نوع آزمون	آماره آزمون	احتمال آزمون
بازدهی ونوین	با عرض از مبدا	-۶/۶۷	۰/۰۰
بازدهی وخارزم	با عرض از مبدا	-۶/۷۱	۰/۰۰
بازدهی سغرب	با عرض از مبدا	-۵/۶۴	۰/۰۰
بازدهی شپنا	با عرض از مبدا	-۸/۵۶	۰/۰۰
بازدهی وپترو	با عرض از مبدا	-۵/۲۴	۰/۰۰
بازدهی دانا	با عرض از مبدا	-۵/۷۹	۰/۰۰
بازدهی خساپا	با عرض از مبدا	-۶/۴۱	۰/۰۰
بازدهی شکربن	با عرض از مبدا	-۵/۷۱	۰/۰۰
بازدهی شدوص	با عرض از مبدا	-۶/۶۴	۰/۰۰

بازدهی خاهن	با عرض از مبدا	-۵/۶۴	۰/۰۰

منبع: محاسبات پژوهش

نتایج آزمون ریشه واحد دیکی فولر حاکی از پایایی همه متغیرهای پژوهش در سطح معنای ۵ درصد است.

محاسبه ریسک با دو روش انحراف‌مطلق و CVaR و مقایسه آن‌ها

در این قسمت، ابتدا جدولی آورده شده‌است که میانگین، میانه و انحراف‌معیار سهام را بیان می‌کند. جدول شماره ۲، شامل میانگین، میانه و انحراف‌معیار سهام موجود در سبد می‌باشد.

جدول ۲- میانگین ، میانه و انحراف معیار سهام

نام سهم	میانگین	میانه	انحراف معیار
ونوین	۰/۰۰۴۴	۰/۰۰۳۶	۰/۰۰۲۱
وخارزم	۰/۰۰۵۴	۰/۰۰۴۳	۰/۰۰۳
سغرب	۰/۰۰۳۰	۰/۰۰۳	۰/۰۰۱۲
شپنا	۰/۰۰۴۸	۰/۰۰۳۷	۰/۰۰۲۵
وپترو	۰/۰۰۳۲	۰/۰۰۲۸	۰/۰۰۱۳
دانا	۰/۰۰۲۶	۰/۰۰۱۸	۰/۰۰۲۰
خساپا	۰/۰۰۱۳	۰/۰۰۱۲	۰/۰۰۴۲
شکربن	۰/۰۰۱۰	۰/۰۰۹۱	۰/۰۰۳۷
شدوص	۰/۰۰۴۲	۰/۰۰۴۴	۰/۰۰۱۱
خاهن	۰/۰۰۲۲	۰/۰۰۲۱	۰/۰۰۹۴

منبع: محاسبات پژوهش

در ادامه جدولی آورده شده‌است که شامل ضریب همبستگی بین سهام می‌باشد.

جدول ۳- ضریب همبستگی بین سهام

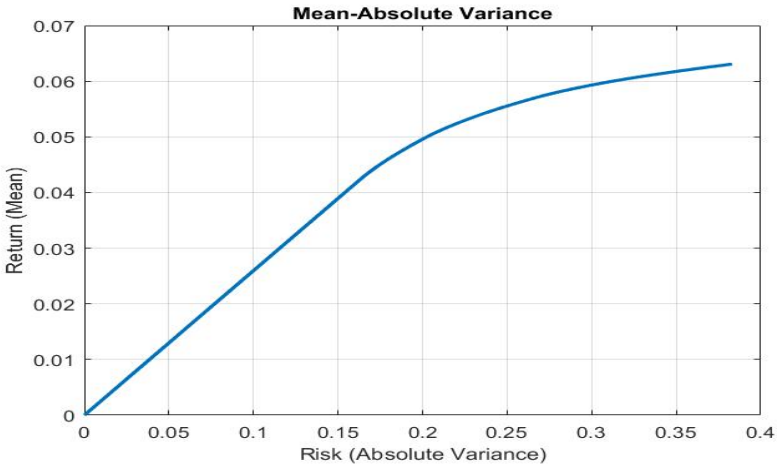
	ونوین	وخارزم	سغرب	شپنا	وپترو	دانا	خساپا	شکربن	شدوص	خاهن
ونوین	۱	۰,۲۱۴	۰,۰۰۰۱	۰,۲۴۶	۰,۱۳۰	۰,۲۸۳	۰,۴۸۳	-۰,۱۰۹	۰,۱۷۷	۰,۰۸۵
وخارزم	۰,۲۱۴	۱	-۰,۰۰۳	-۰,۰۰۵	۰,۰۰۰۹	۰,۰۲۹	۰,۱۰۴	۰,۰۵۸	۰,۰۶۶	۰,۲۶۷

سغرب	۰,۰۰۰۱	-۰,۰۰۳	۱	-۰,۰۰۶	-۰,۰۰۲	۰,۰۰۰۳	-۰,۰۰۴	۰,۰۰۰۸	-۰,۰۲	-۰,۰۰۸
شپنا	۰,۲۴۶	-۰,۰۰۵	-۰,۰۰۶	۱	۰,۱۴۱	۰,۰۹۹	-۰,۰۰۳	۰,۱۶۵	۰,۳۰۰	۰,۰۰۹
وپترو	۰,۱۳۰	۰,۰۰۹	-۰,۰۰۲	۰,۱۴۱	۱	۰,۲۳۸	۰,۱۸۷	۰,۰۰۵	-۰,۰۵	۰,۱۳۶
دانا	۰,۲۸۳	۰,۰۲۹	۰,۰۰۰۳	۰,۰۹۹	۰,۲۳۸	۱	۰,۳۳۲	۰,۲۰۳	۰,۰۴۷	۰,۳۴۱
خساپا	۰,۴۸۳	۰,۱۰۴	-۰,۰۰۴	-۰,۰۱	۰,۱۸۷	۰,۳۳۲	۱	-۰,۱۰	۰,۰۹۴	۰,۱۱۶
شکربن	-۰,۱۰۹	۰,۰۵۸	۰,۰۰۸	۰,۱۶۵	۰,۰۰۵	۰,۲۰۳	-۰,۱۰	۱	-۰,۲۴	۰,۱۸۳
شدوص	۰,۱۷۷	۰,۰۶۶	-۰,۰۰۲	۰,۳۰۰	-۰,۰۵	۰,۰۴۷	۰,۰۹۴	-۰,۲۴	۱	۰,۰۱۲
خاهن	۰,۰۸۵	۰,۲۶۷	-۰,۰۰۸	۰,۰۰۹	۰,۱۳۸	۰,۳۴۱	۰,۱۱۶	۰,۱۸۳	۰,۰۱۲	۱

منبع: محاسبات پژوهش

در قسمت بعدی، ریسک این سهام، ابتدا با روش انحراف مطلق و سپس VaR و CVaR به صورت کلاسیک محاسبه شده و هرکدام در جدولی جداگانه به طور مختصر بیان شده‌است. سپس در جداول دیگری به صورت گسترده‌تر به بررسی آن‌ها پرداخته می‌شود. در نهایت به مقایسه دو مدل انحراف مطلق و ارزش در معرض خطر شرطی پرداخته شده‌است.

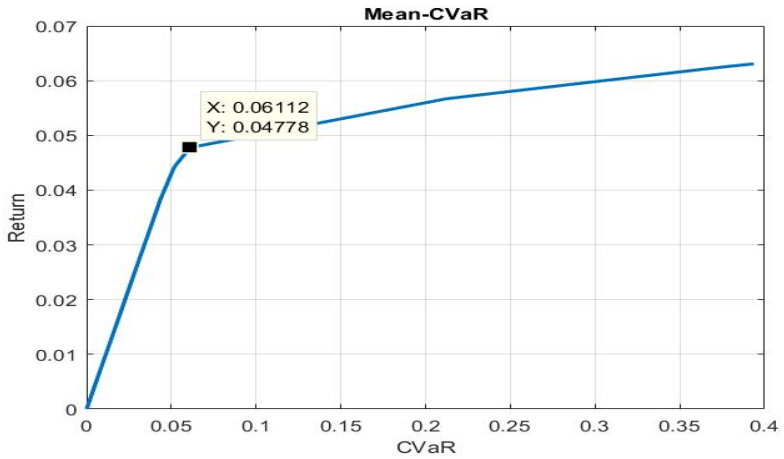
در ابتدا، ریسک این سبد سهام با استفاده از مدل انحراف‌مطلق غیرخطی به دست آمده و در جدول زیر قرار داده شده‌است. در ستون اول، بازدهی این سهام نوشته شده‌است. در ستون دوم، ریسک این بازدهی‌ها محاسبه و وارد شده‌است. در ستون سوم که آخرین ستون از جدول می‌باشد، وزن ایده‌آل برای هر سهم در این سبد بیان شده است. در واقع نشان داده‌شده که برای هر بازده و ریسک، چه میزان از هر سهم باید خریداری شده و در سبد ما قرار گیرد تا بیشترین سود و یا کمترین ضرر را داشته باشد.



شکل ۱ : مرز کارای سبد بهینه با معیار انحراف معیارمطلق

همانطور که در شکل شماره ۱ مشاهده می‌شود در این روش با افزایش بازدهی، ریسک نیز افزایش پیدا می‌کند. در واقع ما برای اینکه بازدهی بیشتری داشته باشیم باید ریسک بیشتری را نیز متحمل شویم. همچنین به طور دقیق بیان شده که در هر نقطه از نمودار یعنی با هرمیزان ریسک و بازدهی، دقیقا چه وزنی از هر سهم در سبد قرار بگیرد. در حالتی که بیشترین بازدهی و بیشترین ریسک را داراست، بهتر است تنها از سهام شپنا خریداری شود. در نمودار شماره یک نیز این داده‌ها ترسیم شده و ملاحظه می‌شود که با افزایش بازدهی، ریسک سرمایه‌گذاری نیز افزایش پیدا می‌کند. برای مثال در نقطه اول نمودار جایی که کمترین بازدهی و کمترین ریسک را دارد، وزن ایده‌آل برای همه سهام صفر می‌باشد تنها سهم سوم یعنی سغرب برای سرمایه‌گذاری توصیه می‌شود که وزن آن ۱ است. در نقطه میانی این نمودار ، برای مثال در حالتی که بازدهی۵درصد می‌باید، ریسک این سرمایه‌گذاری ۲۰درصد می‌باشد و برای وزن هر سهم در سبد نیز، وزن سهامی مانند ونوین، سغرب، خساپا، شکربن و خاهن صفر می‌باشند یعنی برای خرید در این سبد با این ریسک و بازدهی این سهام توصیه نمی‌شوند. در این نقطه بیشترین وزن برای سهم شپنا توصیه شده‌است. در نقطه دیگری مانند نقطه انتهایی این جدول و نمودار که دارای بیشترین درصد بازدهی یعنی ۶درصد و در عین حال بیشترین ریسک یعنی ۳۸درصد می‌باشد، تنها سهم شپنا با وزن یک، برای خرید توصیه شده و وزن سایر سهام در این سبد صفر می‌باشد. با این روش و به کمک ترسیم نمودار و جدول آن‌ها می‌توان به راحتی به سبد ایده‌آل با درصد ریسک و بازدهی مورد نظر دست یافت.

در ادامه، نمودار این جدول برای نقاط گسترده‌تری ارائه می‌شود.



شکل ۲ : مرز کارای سبد بهینه با معیار ارزش در معرض خطر شرطی و α=۹۵ درصد

همانطور که در شکل شماره ۲ نشان داده‌شده، با بهینه‌سازی سبد سهام با ریسک ارزش در معرض خطر شرطی نیز، با افزایش بازدهی سهام ریسک بیشتری نیز باید متحمل شد. اما این روند افزایش‌ها نسبت به روش انحراف‌مطلق کندتر بود. در حالتی که کمترین بازدهی و ریسک را دارد، یعنی در اولین نقطه، تنها وزن سهم سغرب که سومین سهم از این سبد می‌باشد یک بوده و سایر سهام وزن صفر را دارا می‌باشند در واقع برای خرید توصیه نمی‌شوند. همانطور که در نمودار شماره ۲ نیز نشان داده‌شده، در نقطه با بازدهی ۶درصد و ریسک ۴درصد، این نمودار شامل یک شکستگی می‌باشد که از این نقطه به بعد روند افزایش بازدهی و ریسک بسیار کندتر شده‌است. در واقع این نقطه ایده‌آل ترین وزن‌های سبد را نشان می‌دهد. در این نقطه وزن سهام ونوین، سغرب، خساپا و شکربن صفر بوده و سهم دانا بیشترین وزن را دارا می‌باشد. در نقطه انتهایی این نمودار یعنی در حالتی که بیشترین بازدهی و ریسک را دارد که بازدهی ۶درصد و ریسک ۳درصد می‌باشد، سهم سغرب بیشترین وزن را داراست که یک می‌باشد و سایر سهام وزنشان صفر است. یعنی تنها این سهم از سبد برای حالتی که بیشترین ریسک و بازدهی مدنظر است، برای سرمایه‌گذاری توصیه شده‌است. در نهایت با بررسی و مقایسه جدول‌های ارائه‌شده، ملاحظه‌می‌شود که در بهینه‌سازی با روش انحراف‌مطلق غیرخطی، با افزایش بازده سبد سهام، ریسک آن نیز افزایش پیدا می‌کند. هنگامی‌که از مدل انحراف‌مطلق خطی استفاده شد، با افزایش مقدار بازدهی در هر سطر از جدول، ریسک سرمایه‌گذاری افزایش پیدا کرد. اما در روش بهینه‌سازی با روش ارزش در معرض خطر و ارزش در معرض خطر شرطی روند افزایش بازده سبد سهام و ریسک آن کندتر بوده و در برخی نقاط ثابت می‌باید و یا اختلاف خیلی ناچیزی با نقطه قبل از خود دارد.

در ادامه جدولی ارائه می‌شود که در آن، درصد مشخصی از بازدهی، یعنی در بازدهی یک درصد، ۴درصد و ۶درصد ریسک سرمایه‌گذاری با دو روش انحراف‌مطلق و ارزش در معرض خطر شرطی با روش کلاسیک به‌صورت همزمان بیان‌شده و وزن ایده‌آل سهام در سبد مورد نظر بیان می‌شود. این وزن‌ها به ترتیب مربوط به ونوین، وخارزم، سغرب، شپنا، وپترو، دانا، خساپا، شکربن، شدوص و خاهن می‌باشند.

جدول ۴- مقایسه سبدهای بهینه با معیارهای MAD و CVaR با روش کلاسیک

	بازدهی	ریسک	وزن هر سهم در سبد
MAD	۱	۰/۵	۰/۰۱۱ ۰/۰۵۲ ۰/۶۸۴ ۰/۰۴۵ ۰/۰۴۳ ۰/۰۵۴ ۰/۰۳۳ ۰/۰۴۵ ۰/۰۱ ۰/۰۱۷
	۴	۰/۲۰	۰ ۰/۱۹۶ ۰ ۰/۳۱۱ ۰/۰۸۱ ۰/۲۷۶ ۰/۰۰۵ ۰/۰۰۲ ۰/۱۲۵ ۰
	۶	۰/۳۸	۰ ۰ ۰ ۱ ۰ ۰ ۰ ۰ ۰ ۰
CVaR	۱	۰/۱	۰ ۰/۰۱۲ ۰/۶۸۴ ۰/۰۲۶ ۰/۰۳۱ ۰/۰۹۹ ۰/۰۳۹ ۰ ۰/۰۳۲ ۰/۰۷۲
	۴	۰/۶	۰ ۰/۰۸۷ ۰ ۰/۱۱۵ ۰/۰۹۶ ۰/۵۹۸ ۰ ۰ ۰/۰۴۸ ۰/۰۵۲

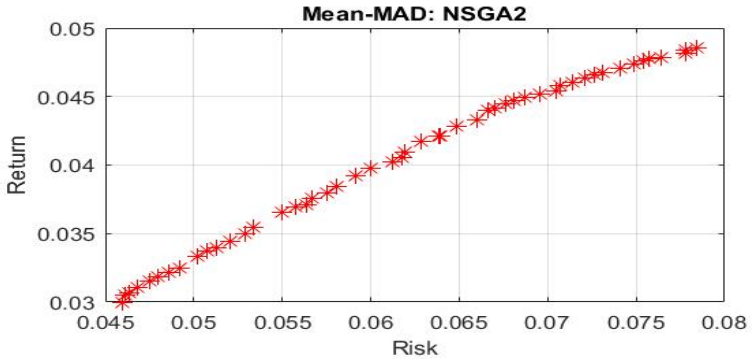
۰ ۰ ۱ ۰ ۰ ۰ ۰ ۰ ۰ ۰	۰/۳۹	۶	

منبع: محاسبات پژوهش

همانطور که ملاحظه می‌شود، در این جدول با مقایسه ریسک و وزن سهام در این بازدهی‌های مشخص با دو معیار مورد نظر، هنگامی‌که کمترین بازدهی یعنی یک درصد باشد، در روش انحراف‌مطلق ریسک بیشتر بوده و اما در هر دو روش، سهم سوم یعنی سغرب بیشترین وزن را داراست. یعنی با این مقدار ریسک و بازدهی، خرید از این سهم در سبد، بیشتر توصیه شده‌است.

در حالتی که بازدهی ۴درصد می‌باشد، مجددا با معیار انحراف‌مطلق، ریسک بسیار بیشتری باید متحمل شد. در روش اول سهم ششم یعنی شپنا بیشترین وزن را دارد در حالی که در روش دوم، سهم چهارم یعنی دانا بیشترین وزن را داراست. در نهایت در حالتی‌که بیشترین بازدهی یعنی ۶درصد به‌دست-آمده، روش دوم ریسک بیشتری را داراست یعنی اگر دنبال بیشترین بازدهی با ریسک کمتر باشیم بهتر است از روش اول یعنی انحراف‌مطلق استفاده کنیم که در این روش وزن سهم چهارم یعنی شپنا یک بوده و سایر سهام وزن ندارند یعنی برای خرید تنها سهم شپنا توصیه شده‌است. حال در ادامه این بازدهی و ریسک‌ها با روش فراابتکاری یا NSGA2 محاسبه می‌شوند و در نهایت این دو روش کلاسیک و فراابتکاری با هم مقایسه می‌شوند.

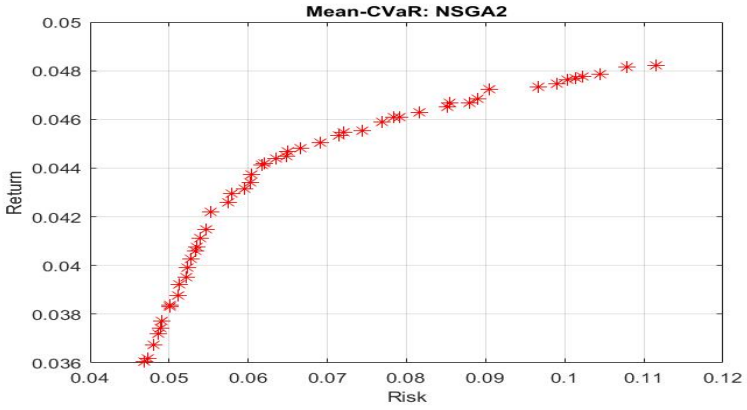
ابتدا جدولی ارائه می‌شود که شامل ریسک و بازدهی سهام در چند نقطه مختلف از نمودار ریسک و بازدهی با معیار میانگین انحراف‌مطلق است که در آن وزن ایده‌آل هر سهم در سبد نیز آمده‌است.



شکل ۳ : مرز کارای ریسک و بازدهی با معیار MAD

همانطور که در این نمودار دیده‌می‌شود، در روش فراابتکاری نیز با افزایش بازدهی سبد، ریسک بیشتری نیز باید متحمل شد. در این نمودار نیز مانند نمودارهای قبلی، محور افقی ریسک و محور عمودی بازدهی را نشان می‌دهد. در نقطه اول که کمترین ریسک و کمترین بازدهی را دارد، وزن ایده‌آل برای

سهم اول که ونوین می‌باشد، صفر است و سهم سوم یعنی سغرب بیشترین وزن را داراست. در حالتی که بازدهی ۴درصد و ریسک ۷درصد می‌باشد، وخارزم بیشترین و خاهن کمترین وزن را در سبد دارد. در کل بازدهی و ریسک با روندی صعودی، در حال افزایش می‌باشند. حال معیار ارزش در معرض خطر شرطی با روش NSGA2 بررسی می‌شود. ابتدا جدول بازدهی و ریسک و وزن سهام برای آن ارائه می‌شود.



شکل۴ : مرز کارای ریسک و بازدهی با معیار CVaR

همانطور که در این شکل۴ ملاحظه می‌شود، مجددا با افزایش بازدهی، ریسک نیز افزایش پیدا می‌کند. در حالتی که کمترین بازدهی یعنی ۳درصد ر ا داریم، ریسک نیز در کمترین حالت خود است و بهترین سهم برای خرید در این سبد، سهم اول یعنی ونوین می‌باشد. در بیشترین بازدهی ممکن با این روش، یعنی وقتی بازده ۴درصد می‌باشد، ریسک ۱۰درصد بوده و بیشترین وزن متعلق به سهم ششم یعنی دانامی‌باشد. باتوجه به نمودادرشکل شماره۳ نیز می‌توان به راحتی نتایج به‌دست‌آمده را درک کرد.

در ادامه جدولی ارائه می‌شود که در آن، در درصد مشخصی از بازدهی، یعنی در بازدهی یک درصد، ۴درصد و ۶درصد ریسک سرمایه‌گذاری با دو روش انحراف‌مطلق و ارزش در معرض خطر شرطی با روش فراابتکاری به‌صورت همزمان بیان‌شده و وزن ایده‌آل سهام در سبد مورد نظر بیان می‌شود. این وزن‌ها به ترتیب مربوط به ونوین، وخارزم، سغرب، شپنا، وپترو، دانا، خساپا، شکربن، شدوص و خاهن می‌باشند.

جدول ۵- مقایسه سبدهای بهینه با معیارهای MAD و CVaR با روش NSGA2

	بازدهی	ریسک	وزن هر سهم در سبد
MAD	۳	۰/۴	۰,۰۲۵۲ ۰,۱۰۱۴ ۰/۸۸۱۷ ۰/۰۰۴۵ ۰/۰۵۷۲۱ ۰/۰۴۲۹۶ ۰ ۰/۰۲۴۴۴ ۰
	۴	۰/۷	۰,۰۴۱۰ ۰,۰۱۴۴۸ ۰,۰۱۰۸ ۰,۷۴۶۴ ۰/۰۰۶۶

			۰/۰۲۹۵ ۰/۰۸۷۶ ۰,۰۰۷۹ ۰,۰۳۴۹ ۰,۰۱۹۲۱
CVaR	۳	۰/۴	۰/۰۶۴۷۴ ۰/۴۲۱۲ ۰/۱۸۲۹ ۰/۳۶۴۵ ۰ ۰/۰۹۹۶۸ ۰/۰۵۳۳۰ ۰/۰۴۲۹۹ ۰/۰۵۹۵۳
	۴	۰/۱۰	۰/۰۹۸۹۱ ۰/۰۱۲۹ ۰/۰۰۷۶ ۰/۳۸۴۶ ۰/۳۹۳۴ ۰/۰۳۹۱۳ ۰/۰۶۸۱۳ ۰/۰۰۳ ۰/۰۳۸۱۱ ۰/۰۵۶۶۲

منبع: محاسبات پژوهش

در جدول شماره۵، برای هر روش دو نقطه را به عنوان مثال برای مقایسه انتخاب کرده و در بازدهی ۳درصد و ۴درصد، ریسک آن‌ها بیان و وزن ایده‌آل هر سهم در سبد محاسبه می‌شود. در روش MAD هنگامی که بازده ۳درصد است ریسک ۰/۴ بوده و با افزایش بازدهی به ۴درصد، ریسک ۰/۷ می‌شود. در حالتی که ریسک و بازدهی کمتر می‌باشند سهم ونوین وزنش صفر و سغرب دارای بیشترین وزن یعنی یک است. در حالتی که بازدهی و ریسک افزایش پیدا کرد وزن ایده‌آل سهام نیز تغییر یافت. به این ترتیب، کمترین وزن به خاهن و بیشترین به وخارزم تعلق می‌گیرد. حال برای معیار CVaR هنگامی که بازده ۳درصد است، ریسک آن ۰/۴ بوده و کمترین وزن به سهم آخر یعنی خاهن و بیشترین وزن به سهم اول یعنی ونوین تعلق می‌گیرد. هنگامی که بازدهی به ۴درصد افزایش می‌یابد، ریسک نیز به ۰/۱۰ افزایش می‌یابد. در این حالت سهم سغرب کمترین و دانا بیشترین وزن را دارا هستند. در نتیجه ملاحظه شد که با بازده برابر، ریسک سرمایه‌گذاری با روش ارزش در معرض خطر شرطی بیشتر بود. پس واضح است که روش انحراف‌مطلق کاربردی‌تر است. زیرا ریسک آن کمتر است.

در انتها جدولی ارائه می‌شود که مربوط به آزمون کوپیک است. این جدول درستی نتایج در تخمین CVaR و MAD را تایید می‌کند.

جدول ۶- آزمون کوپیک

PortfolioID	Risk	Level	POF	LRatioPOF	PValuePOF	Observations	Failures	TestLevel
"Portfolio"	CvaR	۰/۹۵	پذیرش	۰/۳۹۲	۰/۴۹۱	۱۹۸۳	۵۴	۰/۹۹
	MAD	۰/۹۵	پذیرش	۰/۳۸۸	۰/۴۹۸	۱۹۹۱	۵۸	۰/۹۹

نتیجه‌گیری

در این پژوهش دو روش بهینه‌سازی سبد سرمایه با MAD و CVaR ارائه شد. مزایا و معایب هریک مورد بررسی قرار گرفت، هر یک از سنجه‌های ریسک مزایای منحصر به فردی داشتند که این موجب شده مورد استفاده قرار بگیرند. با مقایسه آن‌ها این نتیجه به‌دست آمد که در روش انحراف مطلق با الگوریتم‌های کلاسیک وقتی که برای بهینه‌سازی سبد سهام از معیار CVaR استفاده‌شد، ملاحظه شد

که با اعمال ریسک بیشتر، بازدهی سهام نیز افزایش پیدا کرد. اما این روند افزایشی در مقایسه با معیار MAD کندتر می‌باشد.

همچنین اگر از روش ارزش در معرض خطر شرطی استفاده شود نیز با افزایش بازدهی سهام، ریسک نیز افزایش پیدا می‌کند اما روند این افزایش در معیار MAD تندتر است. پس روش MAD برای بهینه‌سازی سبد سهام، کاراتر و مفیدتر می‌باشد و کاربردی بیشتری برای سرمایه‌گذاران بازار سهام خواهدداشت. در ادامه با روش فراابتکاری نیز بازده و ریسک برای معیار MAD و CVaR محاسبه‌شد. ملاحظه‌شد که با بازده برابر، ریسک سرمایه‌گذاری با معیار CVaR بیشتر بود. لذا معیار CVaR کاربردی‌تر است زیرا ریسک بیشتری را ارائه نموده است.

در نهایت، روش فرا ابتکاری NSGA2 در مقایسه با روش کلاسیک در حل مسئله بهینه‌سازی سبد ریسک بیشتری را هم در معیار MAD و هم در معیار CVaR به نمایش گذاشت. در نتیجه می‌توان نتیجه گرفت که معیار بهتری برای حل چنین مسائل بهینه سازی سبد می‌باشد.

نتیجه‌گیری بررسی فرضیه‌های پژوهش

فرضیه اول این پژوهش این بود که سبد بهینه ایجاد شده در روش CVaR با روش MAD یکسان است. اما همان‌گونه که ملاحظه می‌شود که در هردو روش با افزایش ریسک، بازدهی سهام نیز افزایش پیدا می‌کند. اما در روش انحراف مطلق این روند صعودی، شیب تندتری را طی می‌کند و سبد بهینه آن‌ها متفاوت بود.

فرضیه دوم بیان کرد که روش کلاسیک جوابگوی سبد بهینه برای بازدهی پایین نیست. اما همان‌طور که ملاحظه می‌شود این روش در تمام قیمت‌ها ریسک، بازدهی و وزن‌های ایده‌ال را به خوبی ارائه کرد.

فرضیه سوم این بود که روش فراابتکاری در مقایسه با روش کلاسیک، سبد بهینه‌تری را معرفی می‌نماید. در این پژوهش این نتیجه به دست‌آمد که این روش برای تمامی قیمت‌ها به خوبی جوابگو بوده و در مقایسه با روش کلاسیک، ریسک بیشتری را هم در معیار MAD و هم در معیار CVaR به نمایش گذاشت. در نتیجه می‌توان گفت که روش بهتری برای حل چنین مسائل بهینه سازی سبد می‌باشد.

منابع

۱) علی داوودی، بهینه‌سازی سبدهای سرمایه‌گذاری تحت سرمایه در معرض خطر کراندار،۱۳۹۶.

۲) رضایی،م.ح.،ع.،نجفی،ا.ع. به کارگیری بهینه سازی استوار در مساله انتخاب سبد سهام با افت سرمایه در معرض خطر مشروط. مجله تحقیق در عملیات در کاربردهای آن، (۲)۵۳، ۹۳-۸۱ ،۱۳۹۶.

۳) مهتاب شاهمرادی، مازیار صلاحی، سمیه لطفی. مدل میانگین انحراف مطلق با عدم قطعیت روی بازده‌ها برای بهینه‌سازی سبد سهام ،۱۳۹۷.

۴) علی‌پور جورشری، بهینه‌سازی سبد سهام با رویکرد بخش‌بندی بازار سهام، ۱۳۹۵.

۵) لعیا نشاطی‌زاده، بهینه‌سازی سبد سهام با استفاده از الگوریتم‌های متاهیوریستیک با درنظر گرفتن محدودیت حداقل و حداکثر از هر سهم،

۶) مجتبی فرخ، محمدمهدی فلاح، توسعه یک مدل برنامه‌ریزی امکانی چندهدفه برای انتخاب سبد سهام، ۱۳۹۸.

۷) مینا ایزدی گنابادی، محاسبه فاصله‌ی اطمینان روش درست‌نمایی تجربی برای CVaR با استفاده از مدل‌های ARCH\GARCH ، ۱۳۹۱.

۸) شاه‌مرادی کیاکلایه، مدل میانگین انحراف مطلق برای بهینه‌سازی سبد سهام، ۱۳۹۶.

۹) غلامرضا زمردیان و حمیدرضا کاتبی، بررسی قدرت تبیین سنجه‌های ریسک طیفی، منسجم، انحراف و شبکه‌های عصبی مصنوعی و کاربرد آن‌ها در انتخاب سبد بهینه سرمایه‌گذاری در بورس اوراق بهادار تهران، فصلنامه علمی پژوهشی دانش سرمایه‌گذاری، ۱۳۹۶، سال ۸ شماره ۳۰، ص ۲۸۷-۳۱۲.

10) Li, J & Xu, M, Optimal dynamic portfolio with Meaan-CVaR criterion Risks, vol.3, pp.119-147, 2013.

11) Enocksson David & Skoog Joakim, "Evaluating VaR with the ARCH/GARCH Family", Forsberg Lars, Uppsala University,2011.

12) Mansini, R., Ogryczak, W., & Speranza, M. G. Twenty years of linear programming based portfolio optimization. European. Journal of Operational Research, 234(2), 518-535,2014.

13) Aouni, B., Colapinto, C., & La Torre, D. Financial portfolio management through the goal programming model: current state-of-the-art. European Journal of Operational Research, 234(2), 536-545,2014.

14) Saborido, R., Ruiz, A. B., Bermúdez, J. D., Vercher, E., & Luque, M, Evolutionary multiobjective optimization algorithms for fuzzy portfolio selection. Applied Soft Computing, 39, 48-63,2016.

15) Liu, Y. J., Zhang, W. G., & Zhao, X. J. Fuzzy multi-period portfolio selection model with discounted transaction costs. Soft Computing, 1-17,2016.
16) Qin,Z.Random fuzzy mean-absolute deviation models for portfolio opyimization problem with hybrid uncertainty. Applied Soft Computing 56,597-603, 2017.
17) Liu, Y .J., & Zhang, W. G. Fuzzy portfolio selection model with real features and different decision behaviors. Fuzzy Optimization and Decision Making< 1-20, 2017.
18) Moon, Y., Yao, T, A robust mean-absolute deviation model for portfolio optimization, Computers and Operation Research 38(9),1251-1258, 2011..
19) Cao, K., Batty, M., Huang, B., Liu, Y., Yu, L., & Chen, J., Spatial MultiObjective Landuse Optimization: Extensions to the Non-dominated Sorting Genetic Algorithm-II', Inter national Journal of Geographic Information Science, No. 25, 12, 1949-1969, (2011).
20) Li, J & Xu, M, Optimal dynamic portfolio with Meaan-CVaR criterion Risks, vol.3, pp.119-147, 2013.
(۲۱) Moon, Y., Yao, T., (2011).A robust mean-absolute deviation model for portfolio optimization, Computers and Operation Research, 38(9),1251-1258.

یادداشت‌ها :

1 Herry Markowitz
2 lin
2 liu
4 Gong
5 Moon
6 Yao
7 kaichaow
8 Enocksson David
9 Skoog Joakim
10 Manissi
11 Ogryczak
12 Speranza
13 Aouni
14 Colapinto
15 La Torre
16 Saborido
17 Zhang
18 Goo
19 Qin