فصلنامه راهبرد مدیریت مالی
دانشگاه الزهرا
سال دهم، شماره سی و هشتم، پاییز ۱۴۰۱
صفحات ۷۶-۴۳

مقاله پژوهشی

مدیریت پرتفوی متشکل از انواع دارایی ریسکی و درآمد ثابت با مدل‌های مبتنی بر ارزش در معرض ریسک در بازار ایران[۱]

مرضیه کاظمی راشنانی[۲]، سمیه السادات موسوی[۳]، احسان حاجی‌زاده[۴]

تاریخ دریافت: ۱۴۰۱/۰۴/۰۴ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۱/۰۷/۲۷

چکیده

در این پژوهش با هدف ارائه بهترین رویکرد جهت بهینه‌سازی سبد متشکل از پنج کلاس دارایی شامل؛ ارزهای دیجیتال، ارزهای خارجی، طلا، سهام و صندوق‌های سرمایه‌گذاری مشترک و در سه گروه؛ صندوق‌های سرمایه‌گذاری با درآمدثابت، صندوق‌های سرمایه‌گذاری سهام و صندوق‌های سرمایه‌گذاری مختلط، به توسعه مدل‌های میانگین-ارزش در معرض ریسک و میانگین-ارزش در معرض ریسک شرطی و حل آن‌ها با الگوریتم کلونی مصنوعی زنبور عسل پرداخته شده‌است. عملکرد مدل‌های توسعه‌یافته مبتنی بر ارزش در معرض ریسک، با مدل‌های میانگین-واریانس، میانگین-نیم‌واریانس و میانگین-قدرمطلق انحرافات مقایسه شده‌است. همچنین، کارایی مدل‌ها در حضور محدودیت‌های حد بالا و پایین دارایی، حداقل و حداکثر وزن گروه دارایی و ترکیب دو محدودیت ارزیابی شده‌است. بازه زمانی مورد بررسی این پژوهش از ابتدای مردادماه سال۱۳۹۴ تا انتهای آذر ۱۴۰۰ است. نتایج بدست‌آمده از این مدل‌ها در بخش درون‌نمونه و برون‌نمونه حاکی از آن است که سنجه ارزش در معرض ریسک شرطی چه در حضور محدودیت‌ها و چه بدون حضور آن‌ها، نسبت به سایر سنجه‌های ریسک عملکرد بهتری در مدیریت پرتفوی متشکل از انواع دارایی دارد. همچنین، در بهینه‌سازی سبد چندنوع دارایی، کارایی و برتری الگوریتم کلونی مصنوعی زنبور عسل در مقایسه با دو الگوریتم رقابت استعماری و ازدحام ذرات براساس نسبت‌های شارپ، شارپ شرطی و بازده به ریسک تأیید شد.

واژگان کلیدی: پرتفوی چندنوع دارایی، ارزش در معرض ریسک شرطی، ارزدیجیتال، اوراق با درآمد ثابت.
طبقه‌بندی موضوعی: *G11، G32، D81.*

---

۱. کد DOI مقاله: 10.22051/JFM.2022.40747.2702
۲. دانشجوی کارشناسی ارشد، گروه مهندسی صنایع، دانشکده فنی مهندسی، دانشگاه میبد، میبد، ایران. E-mail: makazemira@gmail.com
۳. استادیار، گروه مهندسی صنایع، دانشکده فنی مهندسی، دانشگاه میبد، میبد، ایران، (نویسنده مسئول). E-mail: mousavi@meybod.ac.ir
۴. استادیار، دانشکده مهندسی صنایع و سیستم‌های مدیریت، دانشگاه صنعتی امیرکبیر، تهران، ایران. E-mail: ehsanhajizadeh@aut.ac.ir

مقدمه

سرمایه‌گذاری خرید دارایی به امید کسب سود حاصل از افزایش قیمت آن دارایی در آینده است (بیات و اسدی ۱۳۹۶). سرمایه‌گذاری تاثیر بسزایی در رشد و توسعه اقتصادی جامعه دارد به‌گونه‌ای که از آن تحت عنوان یک اهرم مهم برای دستیابی به رشد و توسعه اقتصادی یاد می‌شود و بی‌توجهی به آن جامعه را با افت اقتصادی مواجه می‌کند. اقتصاددانان در جهان، بر سرمایه‌گذاری در انواع دارایی تاکید دارند. چراکه معتقدند، تخصیص ثروت به کلاس‌های مختلف دارایی مزایای تنوع‌بخشی سبد سرمایه‌گذاری را افزایش و ریسک سرمایه‌گذاری را کاهش می‌دهد (صباحی وهمکاران، ۱۳۹۹). تحلیل‌گران و سیاستگذاران توجه ویژه‌ای به سهام و منافع آن در اقتصاد داشته و سهام را به‌عنوان تکیه‌گاهی برای بازار سرمایه می‌شناسند. نقدشوندگی و بازدهی بالای سهام، از دلایل عمده روی‌آوردن سرمایه‌گذارن به سرمایه‌گذاری در این دارایی و در نتیجه، توسعه بازارسرمایه است. بیشتر سرمایه‌گذاران جهان درگذشته در دارایی‌هایی نظیر سهام و سپرده‌های بانکی سرمایه‌گذاری می‌کردند. در دهه‌های گذشته، سرمایه‌گذاری در کالا توجه سرمایه‌گذارن جهان را به‌خود جلب‌کرد و از این میان طلا جایگاه ویژه‌ای در سبد دارایی آن‌ها پیدا کرد. همبستگی منفی این دارایی با دیگر دارایی‌ها از یک سو و ماهیت طلا به عنوان پناهگاه امن از سوی دیگر، منجر به افزایش تقاضا برای طلا در جهان و سرمایه‌گذاری در آن به‌ویژه در کشورهای توسعه‌یافته شده‌است (ون و نگین[1]، ۲۰۱۷). در اواخر دهه۱۹۷۰ صندوق‌های مشترک به تدریج جذابیت بیش‌تری یافتند و دارایی‌های آن‌ها افزایش یافت. به این ترتیب در دهه۱۹۹۰، توانستند جایگاه مهمی در بین مؤسسات مالی به دست آورند. از علل اصلی توسعه صندوق‌های مشترک می‌توان به دلایلی چون افزایش درآمد مردم، فعال‌تر شدن بازار سرمایه، متنوع‌سازی سرمایه‌گذاری و استفاده از مدیریت حرفه‌ای اشاره کرد (هوانگ و همکاران[2]، ۲۰۱۱). در سال‌های اخیر سرمایه‌گذاری در بازار ارز دیجیتال[3] رشد چشمگیری را تجربه کرده‌است. از مهم‌ترین ویژگی‌های این بازار در مقایسه با بازارهای سنتی فرآیند امکان انتقال وجه به صورت مستقیم است که منجر به صرف زمان و هزینه کمتر جهت انجام کلیه تراکنش‌ها به سراسر نقاط جهان می‌شود. هوشمند بودن و عدم امکان دستکاری اطلاعات، شفافیت بالای اطلاعات، تمرکز زدایی فرآیندها، نبود سیاست‌گذاری در این بازار و امنیت بالای این رمز ارزها از مهم‌ترین علل جذابیت این بازار برای سرمایه‌گذاران است (اندریانتو و دیپوترا[4]، ۲۰۱۸). امروزه با علم به مزایای تنوع‌بخشی، سرمایه‌گذاری در انواع دارایی بیش‌ازپیش موردتوجه قرار گرفته‌است. به‌نحوی که ثروتمندان بزرگ در سرتاسر جهان، به سرمایه‌گذاری در انواع دارایی نظیر سهام، طلا، اوراق با درآمد ثابت، صندوق‌های سرمایه‌گذاری، ارزهای دیجیتال و... روی‌آوردند.

در بازار ایران نیز، سرمایه‌گذاران تحت تاثیر عواملی همچون تورم، بازده دارایی‌ها و عوامل فرهنگی و بسته به خصوصیت بارز هر کلاس دارایی، اقدام به سرمایه‌گذاری می‌کنند. در فرهنگ ایران، طلا به‌دلیل ارزش ذاتی و قابلیت نقدشوندگی بالای آن به عنوان پشتوانه مالی خوبی درنظر گرفته‌شده و ازطرفی ماهیت

1. Wen & Nguyen
2. Huang et al.
3. Cryptocurrency
4. Andrianto & Dipurta

طلا به عنوان پناهگاه امن همواره موردتوجه سرمایه‌گذاران است (اسکندری و همکاران، ۱۳۹۸). ارزهای خارجی به‌ویژه دلار و یورو، به‌دلیل مقبولیت بین‌المللی و حفظ ارزش در شرایط تورم بالای اقتصادی، از گزینه‌های قابل‌توجه سرمایه‌گذاری برای سرمایه‌گذاران در ایران است (محمودی و همکاران، ۱۳۹۵). سهام به عنوان یک محرک اقتصادی با بازده و نقدشوندگی بالا و از سوی دیگر، عدم محدودیت در میزان سرمایه‌گذاری، نظر سرمایه‌گذاران ریسک پذیر را به خود جلب کرده‌است. همچنین با فعال‌تر شدن بازار سرمایه صندوق‌های سرمایه‌گذاری مشترک با نقدشوندگی بالا و دارا بودن مدیریت حرفه‌ای و تنوع در سرمایه‌گذاری در دو نوع دارایی‌های ریسکی و کم‌ریسک مورد توجه سرمایه‌گذاران با درجه ریسک پذیری مختلف قرار گرفته‌است (عادلی، ۱۳۹۵)، (شمس قارنه و شهلائی، ۱۳۹۲). از طرفی با پیشرفت تکنولوژی و تغییر در ماهیت پول، سرمایه‌گذاری در ارزهای دیجیتال به دلیل ویژگی‌هایی چون شفافیت بالای اطلاعات، تمرکز زدایی فرآیندها، هوشمندسازی، عدم امکان دستکاری اطلاعات و صرف زمان و هزینه کمتر در انجام تراکنش‌های آن رشد چشمگیری داشته و توجه ویژه سرمایه‌گذاران ایرانی را به خود معطوف کرده‌است (آقامحمدی و همکاران، ۱۳۹۹). امروزه در ایران معمولاً افراد بسته به سطح ریسک‌پذیری خود به سرمایه‌گذاری در انواع دارایی ازجمله طلا، ارز، سهام، صندوق‌های سرمایه‌گذاری مشترک و ارزهای دیجیتال اقدام می‌کنند. لذا آگاهی یافتن از تنوع‌بخشی، بهینه‌سازی و انتخاب ترکیب مناسب از دارایی‌ها، موردنیاز هر سرمایه‌گذار و مهمترین بخش از فرایند تصمیم‌گیری اوست. نخستین بار در سال ۱۹۵۲ هری مارکویتز[1] مدل میانگین-واریانس[2] را مطرح نمود که در آن به‌طور همزمان به پدیده ریسک و بازده سرمایه‌گذاری توجه می‌شد (مارکویتز، ۱۹۵۲). مسئله مهمی که هر سرمایه‌گذاری با آن مواجه است، وزن هر دارایی در سبد است به‌نحوی که بتوان به بهترین ترکیب از دارایی‌ها دست‌یافت. در انتخاب سبد بهینه دارایی سرمایه‌گذاران برآن هستند تا ضمن افزایش بازده موردانتظار، ریسک سرمایه‌گذاری در سبد دارایی را کاهش دهند (میشرا و همکاران[3]، ۲۰۱۶). هرچند مدل مارکویتز به‌طور همزمان به ریسک و بازده سرمایه‌گذاری توجه داشته و سرمایه‌گذاران را در انتخاب مناسب‌ترین گزینه از بین گزینه‌های مختلف سرمایه‌گذاری یاری می‌کند اما انتخاب واریانس به عنوان یک سنجه ارزیابی ریسک، ایراداتی را در برداشته که منجر شد تا مطالعات فراوانی در حوزه انتخاب سنجه ریسک مناسب صورت گیرد و سنجه‌های ریسک نیم‌واریانس[4]، قدرمطلق انحرافات[5]، ارزش در معرض ریسک[6] و ارزش در معرض ریسک شرطی[7] ارائه شود. از طرفی سرمایه‌گذاران بایستی در تصمیمات خود، الزامات و محدودیت‌های دنیای واقعی را درنظر داشته‌باشند

1. Harry Markowitz
2. Mean-Variance (MV)
3. Mishra et al.
4. Semi Variance (SV)
5. Absolute Deviation
6. Value at Risk (VAR)
7. Conditional Value at Risk (CVAR)

(ماسدو و همکاران[1]، ۲۰۱۷). در سال‌های اخیر محدودیت‌های دنیای واقعی به مدل‌های ریاضی اضافه شد تا بتوانند به مدلی مناسب برای دنیای واقعی تبدیل شوند (کومار و میشرا[2]، ۲۰۱۷). اضافه کردن محدودیت‌های دنیای واقعی به این مدل‌ها موجب تبدیل شدن مسئله بهینه‌سازی سبد دارایی[3] به یک مسئله پیچیده شد (سابریدو و دیگران[4]، ۲۰۱۶). با پیچیده‌تر شدن مسائل بهینه‌سازی، حل آن‌ها با روش‌های ریاضی گاها منجربه دستیابی به بهینه‌ترین جواب نمی‌شد(رحمانی و همکاران، ۱۳۹۹). لذا محققان به‌منظور حل مسائل پیچیده بهینه‌سازی کم‌کم به الگوریتم‌های فرا ابتکاری[5] روی‌آوردند (کارابوگا و گرکملی[6]، ۲۰۱۴). امروزه، در پژوهش‌های بیشماری توانایی الگوریتم‌های فراابتکاری در حل مسائل بهینه‌سازی سبد اثبات شده‌است (موسوی و همکاران، ۲۰۱۴؛ موسوی و همکاران، ۲۰۱۵ ؛ موسوی و همکاران، ۲۰۲۱).

باتوجه به اهمیت و تاثیر متنوع‌سازی سبد سرمایه‌گذاری در کلاس‌های مختلف دارایی، در این پژوهش به بهینه‌سازی سبد چند نوع دارایی با در نظر گرفتن محدودیت‌های دنیای واقعی و انتخاب سنجه ریسک مناسب پرداخته می‌شود. بر اساس مطالعات صورت گرفته، تابحال در بازار ایران، بهینه‌سازی سبد سرمایه با این حجم از تنوع و محدودیت واقعی مورد بررسی قرار نگرفته است.

در این پژوهش ابتدا به مبانی نظری و پیشینه پژوهش و سپس، نوآوری مقاله و جایگاه آن در ادبیات پژوهش پرداخته می‌شود. در ادامه مدل‌های بهینه‌سازی سبد دارایی توصیف شده و سپس، در بازه زمانی هفت‌ساله عملکرد سنجه‌های ریسک واریانس، نیم‌واریانس، قدرمطلق انحرافات، ارزش در معرض ریسک و ارزش در معرض ریسک شرطی در حضور محدودیت‌های حد بالا و پایین هر دارایی، حداقل و حداکثر وزن گروه دارایی و محدودیت ترکیبی حدبالا و پایین دارایی و گروه دارایی براساس الگوریتم کلونی مصنوعی زنبور عسل در دو بخش درون نمونه و برون نمونه ارزیابی شده و با دو الگوریتم رقابت استعماری و ازدحام ذرات مقایسه می‌شود و ضمن معرفی مدل و الگوریتم برتر، نتایج آن با نتایج بدست‌آمده بدون حضور این محدودیت‌ها مقایسه شده و صحت نتایج از طریق آزمون زوجی برآورد می‌شود.

مبانی نظری

در سال ۱۹۵۲ برای نخستین‌بار مارکویتز مدلی جهت انتخاب پرتفوی بهینه ارائه داد که تحت عنوان نظریه مدرن پرتفوی شناخته شد و مبنایی برای انجام پژوهش‌های آتی در حوزه بهینه‌سازی پرتفوی قرار گرفت(مارکویتز، ۱۹۵۲). مدل مارکویتز به‌صورت یک مدل برنامه‌ریزی درجه دو به شکل رابطه (۱) ارائه شد:

$$\text{Max } \mu_p=\sum_{i=1}^{n} w_i\ \mu_i$$

$$\text{Min}\sigma_p^2 = \sum_{i=1}^{n}\sum_{j=1}^{n} w_i\ w_j\ \sigma_{ij} = \sum_{i=1}^{n}\sum_{j=1}^{n} w_i\ w_j\ SR_i\ SR_j\ \rho_{ij} \qquad (۱)$$

1. Macedo et al.
2. Kumar& Mishra
3. Portfolio optimization
4. Saborido et al.
5. Meta Heuristic
6. Karaboga et al.

s.t.

$\sum_{i=1}^{n} w_i = 1$

$w_i \geq 0$ i , j=1,2,....,n

در رابطه فوق، n: تعداد سهام موجود درسبد، μ_i : بازده سهم i ام، μ_p : بازده پرتفوی، σ_p^2 : واریانس پرتفوی، w_i : وزن سهم i ام، σ_{ij} : کواریانس بازده سهم i و j ام، SR_i : انحراف استاندارد بازده سهم i ام، ρ_{ij} : ضریب همبستگی بین سهم i و j ام است.

واریانس سنجه مناسبی برای برآورد ریسک سرمایه‌گذاری نبود، زیرا در ارزیابی ریسک، بین نوسانات مطلوب و نامطلوب تفاوتی قائل نبود؛ به همین دلیل پژوهش‌ها و تلاش‌های فراوانی به منظور ارائه معیار ارزیابی ریسک با عملکرد بهتر از واریانس انجام شد. مارکویتز در جهت اصلاح این مشکل مدل میانگین-نیم واریانس را ارائه داد که به مراتب عملکردی بهتر از مدل میانگین-واریانس به نمایش گذاشت (مارکویتز، ۱۹۵۹). کونو و یامازاکی[1] در سال ۱۹۹۱ مدل میانگین-انحرافات مطلق را به منظور بهینه‌سازی سبدی متشکل از انواع دارایی ارائه دادند که ضمن حفظ مزیت‌های مدل میانگین-واریانس، مسئله بهینه‌سازی را از یک مدل درجه دو به یک مدل خطی تبدیل کرده و پیچیدگی‌های حل مسائل بهینه‌سازی درجه دو را کاهش داد(کونو و یامازاکی، ۱۹۹۱).

هرچند معیارها و سنجه‌های ریسک از جمله واریانس، نیم‌واریانس و قدرمطلق انحرافات پیشنهاد شدند اما تا آن زمان به دلیل سهولت محاسبه سنجه ریسک واریانس، این معیار برای ارزیابی ریسک پرتفوی بیشتر مورد توجه سرمایه‌گذاران بود. اما واریانس به دلیل عدم نگاه رو به جلو و مباحث مربوط به بودجه‌بندی و همچنین، مدیریت ریسک از کارایی لازم برای ارزیابی ریسک برخوردار نبود. با پیشرفت سیستم‌های مدیریت دارایی، مطالعات در حوزه ارائه یک سنجه ریسک مناسب گسترش یافت. در سال ۱۹۶۳ بامول[2] سنجه ارزش در معرض ریسک را ارائه داد (بامول، ۱۹۶۳). ارزش در معرض ریسک حداکثر زیان مورد انتظار یک سرمایه‌گذاری است. ارزش در معرض ریسک متغیر تصادفی بازده X در سطح اطمینان $1-\alpha$ ($VaR_{1-\alpha}(X)$) براساس رابطه (۲) بدست می‌آید:

$$VaR_{1-\alpha}(X) = -F_X^{-1}(\alpha) = -\inf\{x|F_X(x) \geq \alpha\} \qquad (۲)$$

در رابطه فوق، $F_X^{-1}(x)$ تابع معکوس (کوانتایل) $F_X(x)$ است.

ارزش در معرض ریسک یک سنجه ریسک نامطلوب است که در آن فرض نرمال بودن توزیع بازده دارایی‌ها مطرح نبوده و چارچوبی برای محاسبه ریسک ارائه می‌دهد که در مواجهه با انواع دارایی‌ها عملکرد مناسب و کاربرد یکسانی از خود به‌نمایش می‌گذارد. ارزش در معرض ریسک را می‌توان سنجه‌ای آینده‌نگر دانست که برای انواع اسناد و دارایی‌های مالی قابل‌استفاده است. اما این معیار مقادیر زیان بیش از ارزش

1. Konno & Yamazaki
2. Baumol

در معرض ریسک را در نظر نمی‌گیرد و یک سنجه ریسک منسجم نیست. در سال ۱۹۹۹ آرتزنر و همکارانش[1] همکارانش[1] با هدف رفع کاستی‌های معیار ارزش در معرض ریسک، سنجه ارزش در معرض ریسک شرطی را ارائه دادند که علاوه بر یکنواختی[2]، همگنی[3] و تغییرناپذیری[4] دارای خاصیت زیرجمع‌پذیری[5] بوده و تحت عنوان یک سنجه ریسک منسجم شناخته می‌شود و تمامی مزیت‌های معیار ارزش در معرض ریسک را شامل می‌شود (آرتزنر و همکاران، ۱۹۹۹).

پیشینه پژوهش

تابحال در زمینه تاثیر افزودن کلاس‌های مختلف دارایی به سبد سرمایه‌گذاری در بازارهای خارجی مطالعات زیادی صورت گرفته‌است. از جمله در مقاله‌ای تاثیر افزودن کالا به سبد دارایی از طریق استراتژی 1/N، تعادل ریسک، حداقل واریانس، میانگین-واریانس، نسبت سود به زیان و بلک‌لیترمن بررسی شد (بسلر و ولف، ۲۰۱۵). در پژوهشی دیگر، با هدف ایجاد پرتفوی بهینه شامل ارز خارجی، کالا، سهام و صندوق‌های سرمایه‌گذاری قابل معامله (ETF[6]) و ارزیابی تاثیر متنوع‌سازی این سبد با ارزدیجیتال از مدل میانگین-واریانس مارکویتز استفاده شده و تأثیر مثبت ارز دیجیتال برکاهش ریسک سبد تاییدشد(اندریانتو و دیپوترا، ۲۰۱۸). در پژوهش دیگری عملکرد استراتژی وزن یکسان 1/N برای هر دارایی و مدل مارکویتز در بهینه‌سازی پرتفوی شامل ارزهای دیجیتال مقایسه شد(پلاتاناکیس و همکاران، ۲۰۱۸). در پژوهشی دیگر براونیس و مستل[7](۲۰۱۹)، پرتفوی شامل ۵۰۰ ارز دیجیتال را براساس مدل میانگین-واریانس مارکویتز تحلیل و ارزیابی کردند و اثبات کردند که انتخاب چندین ارز دیجیتال در پرتفوی، ریسک را به‌طور قابل توجهی کاهش می‌دهد (براونیس و مستل، ۲۰۱۹). همچنین، برای یافتن ترکیب کارآمد از سبد چندنوع دارایی از مدل میانگین-واریانس تحت محدودیت نقدشوندگی استفاده‌شد و نتایج نشان داد که گنجاندن ارزهای رمزپایه در پرتفوی سود قابل توجهی برای سرمایه‌گذاران به همراه دارد (تریمبورن و دیگران، ۲۰۱۷). پتوخینا و همکاران[8](۲۰۲۰)، بر اساس استراتژی‌های مختلف به بهینه‌سازی سبد دارایی شامل ارزهای دیجیتال پرداختند و به این نتیجه دست‌یافتند که اضافه‌کردن ارزهای دیجیتال به سبد دارایی موجب کاهش ریسک سبد می‌شود (پتوخینا و همکاران، ۲۰۲۰). سیمیتسی و چالواتزیس[9](۲۰۱۹)، براساس چهار استراتژی مختلف به بهینه‌سازی سبد دارایی شامل بیت کوین، ارز، طلا، نفت، املاک و مستغلات و اوراق قرضه پرداختند و مزایای یکسان مدل مارکویتز و استراتژی 1/Nرا در بهینه‌سازی سبد دارایی به اثبات رساندند (سیمیتسی و چالواتزیس، ۲۰۱۹). لیو[10](۲۰۱۹)، نتایج حاصل از متنوع‌سازی پرتفوی را در شش پرتفوی مختلف از ده ارز دیجیتال مورد تجزیه و تحلیل قرارداد (لیو، ۲۰۱۹).

1. Artzner et al.
2. Monotonicity
3. Homogeneity
4. Translation invariance
5. Subadditivity
6. Exchange-traded fund
7. Brauneis & Mestel
8. Petukhina et al.
9. Symitsi & Chalvatzis
10. Liu

از طرفی، ما و همکاران[1](۲۰۲۰)، در پژوهشی براساس استراتژی 1/N و مدل میانگین-واریانس به بهینه‌سازی سبد دارایی شامل سهام، ارز، کالا و ارزهای رمزپایه اقدام‌کردند. نتایج نشان‌داد که مدل میانگین-واریانس به‌جهت بهینه‌سازی از عملکرد بهتری برخوردار است(ما و همکاران، ۲۰۲۰). کجتازی و مورو[2](۲۰۱۹)، در پژوهشی با تکیه‌بر رویکرد میانگین-ارزش در معرض ریسک شرطی ویژگی‌های متنوع‌سازی بیت‌کوین را در سبد دارایی بازارهای ایالات متحده، اروپا و چین بررسی و عملکرد سبد با و بدون حضور بیت‌کوین را مقایسه‌کردند و دریافتند افزودن رمزارزها مزایای تنوع‌بخشی در پرتفوی دارایی را بهبود می‌بخشد (کجتازی و مورو، ۲۰۱۹). همچنین در پژوهشی دیگر با استفاده از مدل میانگین-ارزش در معرض ریسک و تحت محدودیت VAR برای انتخاب سبد دارایی شامل دو نوع دارایی ریسکی و غیر ریسکی تصمیم‌گیری شد و نمایان شد که در حضور این محدودیت میزان سرمایه‌گذاری در دارایی‌های غیر ریسکی افزایش می‌یابد (علی و جیلانی، ۲۰۱۴). با مرور ادبیات این نتیجه حاصل می‌شود که افزودن دارایی‌هایی از کلاس‌های مختلف دارایی از طریق کاهش ریسک پرتفوی مزایای تنوع‌بخشی را بهبود می‌بخشد و افزودن ارزهای دیجیتال و دارایی‌های غیر ریسکی از طریق افزایش بازده و کاهش ریسک پرتفوی نقش مثبتی در بهینه‌سازی سبد دارایی ایفا می‌کند.

در ایران درحوزه بهینه‌سازی سبد دارایی شامل سپرده های بانکی، اوراق مشارکت، سهام، ارز، سکه، مسکن و زمین از مدل میانگین-واریانس جهت انتخاب سبد بهینه دارایی استفاده شد و اثبات شد که میزان سرمایه‌گذاری در سهام با سطح ریسک‌پذیری سرمایه‌گذاران ارتباط مستقیم دارد (طهماسبی ۱۳۹۴). در پژوهشی، عملکرد املاک و مستغلات در برابر سایر فرصت‌های سرمایه‌گذاری از جمله دلار، طلا، سهام و اوراق مشارکت با استفاده از مدل میانگین-واریانس ارزیابی و مشخص شد که حضور املاک و مستغلات در سبد دارایی منجر به کاهش ریسک و افزایش بازده سبد و بهبود مرز کارا می‌شود (محمودی و همکاران، ۱۳۹۵). همچنبن، تاثیر مثبت طلا در تنوع‌بخشی سبد سرمایه‌گذاری سهام شامل شاخص‌کل، شاخص صنعت و شاخص ۵۰ شرکت فعال‌تر در بورس اوراق بهادار تهران براساس معیار تسلط تصادفی در سه سطح اثبات شد (اسکندری و همکاران، ۱۳۹۸).

درحوزه بهینه‌سازی سبد شامل ارزهای دیجیتال، کارایی خوب مدل میانگین-ارزش در معرض ریسک در بهینه‌سازی سبد شامل ۵ ارز دیجیتال تایید شد (آقامحمدی و همکاران، ۱۳۹۹). صباحی و همکاران بر اساس مدل میانگین-ارزش در معرض ریسک شرطی به بهینه‌سازی سبد سرمایه‌گذاری شامل دارایی‌های متنوع نظیر سهام، طلا، دلار و بیت‌کوین پرداختند. نتایج بیانگر این بود که براساس نسبت شارپ شرطی پرتفوی متنوع از دارایی به نسبت هر دارایی عملکرد بهتری دارد (صباحی و همکاران، ۱۳۹۹).

در زمینه حل مسئله بهینه‌سازی سبد سهام در پژوهشی به روش تحلیل پوششی داده‌ها و براساس معیار ارزش در معرض ریسک به بهینه‌سازی سبد سهام شرکت‌های پذیرفته‌شده در بورس اوراق بهادار تهران پرداخته‌شد و عملکرد آن با سبد بازار و سبد بهینه‌شده به روش مارکویتز براساس معیار شارپ مقایسه شده و برتری مدل پیشنهادی به اثبات رسید (کاظمی میان گسکری و همکاران، ۱۳۹۶). همچنین، صداقتی

1. Ma et al.
2. Kajtazi & Moro

و همکاران (۱۴۰۱) به‌منظور بهینه‌سازی سبد سهام از معیار ارزش در معرض ریسک برای سنجش ریسک نامطلوب و کوواریانس جزء بالا برای سنجش پتانسیل مطلوب سبد استفاده کردند و نشان دادند استفاده از ارزش در معرض ریسک و توجه به گرایش‌های سرمایه‌گذار منجر به بهبود کارایی پرتفوی می‌شود. نادری نورعینی، با هدف انتخاب بهترین روش محاسبه ارزش در معرض ریسک صندوق‌های سرمایه‌گذاری، عملکرد هر سه روش پارامتریک، شبیه‌سازی تاریخی و شبیه‌سازی مونت‌کارلو را براساس آزمون اعتبارسنجی کوویک تأیید کرد (نادری نورعینی،۱۳۹۷). به علاوه، در پژوهشی، عملکرد دو روش شبیه‌سازی تاریخی و شبیه‌سازی مونت‌کارلو برای محاسبه ارزش در معرض ریسک پرتفوی شامل صندوق‌های سرمایه‌گذاری مشترک در بازارهای مالی جهانی در مدل‌های ARMA و ARFIMA بررسی و برتری رویکرد شبیه‌سازی تاریخی در بهینه‌سازی پرتفوی و دستیابی به مرز کارای بالاتر اثبات شد (ناطقیان و همکاران، ۱۴۰۱).

در زمینه حل مسئله بهینه‌سازی سبد با الگوریتم‌های فرابتکاری، توانایی الگوریتم فرابتکاری پرندگان در بهینه-سازی مدل میانگین-واریانس براساس معیار ریسک و بازده تایید شد (بیات و اسدی ۱۳۹۶). در پژوهشی دیگر به بهینه‌سازی سبد مشتریان بانک براساس دو مدل غیر خطی تک‌هدفه، دو هدفه و مدل آرمانی پرداخته شده و از الگوریتم فرابتکاری ژنتیک استفاده‌شد. نتایج نشان داد که در امر بهینه‌سازی سبد تسهیلات بانکی مدل غیرخطی تک‌هدفه به نسبت دو مدل دیگر برتری دارد(عماد و غریب، ۱۳۹۸). در پژوهشی به‌منظور بهینه‌سازی پرتفوی چند دوره‌ای در یک محیط فازی از الگوریتم ازدحام ذرات چندهدفه استفاده شده و کارایی معیارهای ارزیابی ریسک ارزش در معرض خطر فازی، ارزش در معرض خطر میانگین فازی و نیم آنتروپی فازی براساس شاخص شارپ و ترینر مقایسه شد. نتایج گویای برتری معیار ارزش در معرض خطر میانگین فازی بود (شیری قهی و همکاران، ۱۳۹۶). در پژوهشی دیگر براساس معیارهای مختلف ریسک واریانس، نیم‌واریانس، ارزش در معرض ریسک و ارزش در معرض ریسک شرطی و به کمک الگوریتم فرابتکاری مورچگان به بهینه‌سازی سبد سهام پرداخته‌شد. نتایج نشان داد که پرتفوی بهینه‌شده براساس معیار ارزش در معرض ریسک شرطی توانسته ضمن دستیابی به بیشترین بازده ریسک سرمایه‌گذاری را به حداقل برساند (میرفیض و همکاران، ۱۳۹۲). در مطالعه‌ای براساس مدل میانگین-واریانس و با استفاده از سه الگوریتم ژنتیک، فرهنگی و ازدحام ذرات به بهینه‌سازی سبد سهام اقدام شد. نتایج نشان داد که الگوریتم ازدحام ذرات از بعد تابع هدف در مقایسه با دو الگوریتم فرهنگی و ژنتیک دارای برتری نسبی است(بحری ثالث و همکاران، ۱۳۹۷). حیدری و نشاطی-زاده[1](۲۰۱۸)، عملکرد دو الگوریتم فرابتکاری کرم شب‌تاب و رقابت استعماری را به‌منظور دستیابی به سبد بهینه ۲۵ سهم پذیرفته‌شده دربورس اوراق بهادار تهران، ارزیابی و مقایسه‌کردند. در این پژوهش از دو مدل میانگین-واریانس و میانگین-نیم واریانس تحت محدودیت کاردینالیتی استفاده شد. نتایج نشان از برتری الگوریتم رقابت استعماری و معیار ریسک نیم‌واریانس داشت (حیدری و نشاطی‌زاده، ۲۰۱۸). رهنمای رودپشتی و همکارانش، به حل مسئله بهینه‌سازی سبد سهام شرکت‌های خصوصی با استفاده از الگوریتم چندهدفه کلونی مصنوعی زنبور عسل مبتنی‌بر ماتریس کواریانس و در شرایط کمبود داده پرداخته و کارایی خوب الگوریتم کلونی مصنوعی زنبور عسل را تاییدکردند (رهنمای رودپشتی و همکاران، ۱۳۹۷). همچنین، رحمانی و همکاران (۱۳۹۹)، برتری الگوریتم فرابتکاری کلونی مصنوعی زنبور عسل در

1. Heidari & Neshatizadeh

مقایسه با دو الگوریتم الگوریتم ژنتیک و مورچگان در حل مسائل بهینه‌سازی سبد سهام براساس مدل میانگین-واریانس را به اثبات رساندند (رحمانی و همکاران، ۱۳۹۹).

با استناد به پیشنه پژوهش می‌توان دریافت هرچند در برخی مطالعات خارجی به تاثیر افزودن انواع دارایی به پرتفوی پرداخته شده است، اما خلاء الگوریتم‌های فرابتکاری در این تحقیقات به چشم می‌خورد. در ایران نیز، به تعداد انگشت‌شمار مقاله به حوزه بهینه‌سازی سبد دارایی پرداخته شده که در این پژوهش‌ها محدودیت‌های دنیای واقعی لحاظ نشده‌است. از طرفی در پژوهش‌های محدودی به مقایسه عملکرد الگوریتم‌های فرابتکاری در بهینه‌سازی سبد دارایی پرداخته شده و همچنین عملکرد مدل‌های بهینه‌سازی مقایسه نشده‌است. این مطالعه قصد دارد به‌طور گسترده به گزینه‌های مختلف سرمایه‌گذاری از جمله ارزهای خارجی، طلا، سهام، رمزارزها و صندوق‌های سرمایه‌گذاری، در سه گروه صندوق‌های با درآمد ثابت، صندوق‌های سهام و صندوق‌های مختلط در ایران پرداخته و با لحاظ نمودن انواع دارایی‌های ریسکی و کم‌ریسک (دارایی‌های با درآمد ثابت) محدوده سرمایه‌گذاری را گسترش دهد. از طرفی به‌منظور ارائه رویکرد مناسب در بهینه‌سازی سبد دارایی، برخلاف مطالعات گذشته، با ورود به عرصه الگوریتم‌های فرابتکاری عملکرد پنج معیار واریانس، نیم‌واریانس، انحرافات مطلق، ارزش در معرض ریسک و ارزش در معرض ریسک شرطی با و بدون حضور محدودیت‌های دنیای واقعی در سه الگوریتم رقابت استعماری، ازدحام ذرات و کلونی مصنوعی زنبور عسل مقایسه می‌شود.

پرسش‌های پژوهش

۱. کارایی مدل میانگین-ارزش‌در معرض ریسک شرطی نسبت‌به چهار مدل میانگین-واریانس، میانگین-نیم‌واریانس، میانگین-قدرمطلق انحرافات و میانگین ارزش در معرض ریسک ازنظر ریسک و بازده در انتخاب سبد دارایی چگونه است؟

۲. افزودن محدودیت‌های حدبالاو حدپایین برای دارایی و محدودیت حداقل و حداکثر وزن برای یک کلاس دارایی بر وزن دارایی‌های موجود در پرتفوی بهینه چه تاثیری دارد؟

۳. الگوریتم کلونی مصنوعی زنبور عسل نسبت به دو الگوریتم رقابت استعماری و ازدحام ذرات چه عملکردی در انتخاب سبد بهینه دارایی دارد؟

روش شناسی پژوهش

براساس تئوری مارکویتز، مسئله بهینه‌سازی سبد دارایی دو تابع هدف دارد یکی حداکثرسازی بازده و دیگری حداقل سازی ریسک که برای تبدیل آن به مدلی تک هدفه به تابع جریمه نیاز است. یکی دیگر از علل استفاده از تابع جریمه این است که از پیگیری جواب‌های نشدنی چشم‌پوشی کند. از طرفی با استفاده از تابع جریمه محدودیت $\mu_P = w^T\mu \geq \mu_{P0}$ (μ_{p_0}: حداقل بازده مورد انتظار پرتفوی) حذف می‌شود. تابع جریمه به صورت رابطه (۳) تعریف می‌شود:

$$Violation = \begin{cases} 0 & if \quad \mu_P \geq \mu_{P0} \\ 1 - \frac{\mu_P}{\mu_{P0}} & if \quad \mu_P < \mu_{P0} \end{cases} \qquad (۳)$$

$$Violation = \max\,(0{,}1 - \frac{\mu_p}{\mu_{P0}})$$

با افزودن تابع جریمه،مدل میانگین-واریانس تک هدفه برای انتخاب سبد چند نوع دارایی با محدودیت حد بالا و پایین برای هر دارایی و محدودیت حداقل و حداکثر وزن گروه دارایی، رابطه (۴) تعریف می‌شود:

$$\mathrm{Min}\sigma_p^2 = \sum_{i=1}^{n}\sum_{j=1}^{n} w_i\, w_j\, \sigma_i\, \sigma_j\, \rho_{ij}[1 + \beta \max(0{,}1 - \frac{\mu_p}{\mu_{P0}})] \qquad (۴)$$

s.t.

1. $\sum_{i=1}^{n} w_i = 1$
2. $w_i \geq 0$ i , j=1,2,⋯,n
3. $\varepsilon_i \leq w_i \leq \gamma_i$ $(i = 1.\cdots.n)$
4. $\alpha_g \leq \sum_{i=1}^{2} w_i \leq \beta_g$
5. $\alpha_g \leq \sum_{i=3}^{7} w_i \leq \beta_g$
6. $\alpha_g \leq w_8 \leq \beta_g$
7. $\alpha_g \leq \sum_{i=9}^{14} w_i \leq \beta_g$
8. $\alpha_g \leq \sum_{i=15}^{20} w_i \leq \beta_g$

در رابطه فوق، σ_p^2: واریانس پرتفوی، n: تعداد دارایی موجود درسبد، w_i : وزن دارایی i ام،σ_i: انحراف استاندارد بازده دارایی i ام، ρ_{ij}: ضریب همبستگی بین دارایی i و j ام و β : ضریب بزرگی‌است که در تابع جریمه ضرب می‌شود و مقدار آن بستگی به نوع مسئله مدنظر دارد. به علاوه، ε_i و γ_i به ترتیب حد بالا و حد پایین برای میزان وزن اختصاص یافته به دارایی i ام در پرتفوی هستند و α_g و β_g بیانگر حداقل و حداکثر وزنی‌است که هر گروه دارایی می‌تواند اختیار کند.

در رابطه (۴) دو محدودیت اول از محدودیت‌های مدل مارکویتز بوده و به‌ترتیب بیانگر محدودیت کل بودجه سرمایه‌گذاری و عدم امکان فروش استقراضی‌است. محدودیت‌های ۳ تا ۸ از جمله محدودیت‌هایی است که در نتیجه لحاظ نمودن ترجیحات سرمایه‌گذاری و یا محدودیت‌های موجود در واقعیت ایجاد می‌شود. در این مقاله با لحاظ نمودن این محدودیت‌ها در مدل‌های مسئله، مدلی نزدیک‌تر به واقعیت ارائه می‌شود. محدودیت ۳ در این مدل بیانگر محدودیت حدبالا و پایین سرمایه‌گذاری در هر دارایی‌است و به این معناست که هر دارایی در پرتفوی می‌تواند وزنی در محدوده‌ی ε_i و γ_i اختیار کند. محدودیت‌های ۴ تا ۸ به‌ترتیب بیانگر حداقل و حداکثر وزن اختصاص یافته به پنج گروه دارایی ارز خارجی، ارز دیجیتال، طلا، سهام و صندوق‌های سرمایه‌گذاری است و به این معناست که مجموع وزنی دارایی‌های موجود در هر گروه دارایی به‌طور مجزا بایستی مقادیری بین α_g و β_g به خود بگیرد.

در اصلاح سنجه ریسک پرتفوی، نیم واریانس به عنوان یک سنجه ریسک نامطلوب پیشنهاد شد (مارکویتز، ۱۹۵۹). این سنجه ریسک طبق رابطه (۵)، از مجذور انحرافات کوچکتر از میانگین نرخ بازده به‌دست می‌آید.

$$\Delta \mathrm{P}_{-}^{2} = \mathrm{E}\left\{\left(R_{P(t)} - \mu_{\mathrm{P}}\right)^2 \middle| R_{P(t)} < \mu_{\mathrm{P}}\right\} = \sigma_{p-}^2 = \sum_{i=1}^{n}\sum_{j=1}^{n} w_i\ w_j\, \sigma_{i-}\, \sigma_{j-}\, \rho_{ij} \qquad (۵)$$

که در آن $R_{P(t)}$: بازده پرتفوی در زمان t، μ_{P} : میانگین نرخ بازده پرتفوی، σ_{p-}^2: نیم‌واریانس پرتفوی، σ_{i-}: نیم‌انحراف معیار بازده دارایی iام است. تابع هدف مدل میانگین-نیم‌واریانس تک‌هدفه نیز با افزودن تابع جریمه به شکل رابطه (۶) تعریف می‌شود:

$$\mathrm{Min}\sigma_{p-}^2 = \sum_{i=1}^{n}\sum_{j=1}^{n} w_i\ w_j\ \sigma_{i-}\ \sigma_{j-}\ \rho_{ij}\ [1 +\ \beta \max(0{,}1 - \frac{\mu_p}{\mu_{P0}})] \qquad (۶)$$

در مدل میانگین-انحرافات مطلق (کونو و یامازاکی، ۱۹۹۱) به‌منظور رفع ایرادات سنجه واریانس، از سنجه قدرمطلق انحرافات برای سنجش ریسک استفاده می‌شود. قدر مطلق انحرافات دارایی iام (S_i) و پرتفوی (S_P) به ترتیب از روابط (۷) و (۸) قابل محاسبه است.

$$S_i = \mathrm{E}\{\left|r_{i(t)} - \mu_{\mathrm{i}}\right|\} = \frac{1}{T}\sum_{t=1}^{T}\left|r_{i(t)} - \mu_{\mathrm{i}}\right| \qquad (۷)$$

$$S_P = \sum_{i=1}^{n} w_i\, S_i \qquad (۸)$$

به این ترتیب، تابع هدف مدل میانگین-انحرافات مطلق با افزودن تابع جریمه با رابطه (۹) تعریف می‌شود.

$$\mathrm{Min}S_P = \sum_{i=1}^{n} w_i\, S_i\ [1 +\ \beta \max(0{,}1 - \frac{\mu_p}{\mu_{P0}})] \qquad (۹)$$

محاسبه ریسک نامطلوب یکی از مباحث مهم در بررسی‌های مالی و بهینه‌سازی پرتفوی است و ارزش در معرض ریسک امکان اندازه‌گیری این نوع ریسک را به نحو مطلوبی فراهم می‌سازد. ارزش در معرض ریسک حداکثر زیان مورد انتظار یک دارایی یا مجموعه ای از دارایی‌ها را در یک دوره زمانی مشخص با یک سطح اطمینان مشخص نمایان می‌سازد. با درنظر گرفتن سنجه ریسک ارزش در معرض ریسک به‌جای واریانس، مدل میانگین-ارزش در معرض ریسک تک‌هدفه با رابطه (۱۰) ایجاد می‌شود.

$$\mathrm{Min}\ VaR_{1-\alpha}(X)\ [1 +\ \beta \max(0{,}1 - \frac{\mu_p}{\mu_{P0}})] \qquad (۱۰)$$

راکفلر و اوریاسف (۲۰۰۰) با هدف رفع کاستی‌های معیار ارزش در معرض ریسک سنجه ارزش در معرض ریسک شرطی ($CVar_{1-\alpha}(X)$) را ارائه دادند که با عناوین دیگر از جمله ریزش مورد انتظار و میانگین زیان اضافی نیز شناخته می‌شود. با استفاده از تابع جریمه می‌توان مدل میانگین-ارزش در معرض ریسک شرطی را با تابع تک‌هدفه و به صورت رابطه (۱۱) تعریف کرد:

$$Min\ \frac{1}{1-\alpha}\int_{Var_\alpha(X)}^{+\infty} ZF_X(Z)dZ\ \ [1 + \beta max(0{,}1 - \frac{\mu_p}{\mu_{P0}})] \qquad (۱۱)$$

برای محاسبه ارزش در معرض ریسک می‌توان از رویکردهای پارامتریک از جمله واریانس-کوواریانس رویکردهای ناپارامتریک از جمله شبیه‌سازی تاریخی و شبیه‌سازی مونت‌کارلو استفاده کرد. امروزه تحلیل‌گران مالی بسته به نوع و توزیع دارایی، میزان دسترسی به اطلاعات، سرعت و دقت مورد نیاز جهت انجام محاسبات مناسب‌ترین رویکرد محاسبه ارزش در معرض ریسک را برمی‌گزینند. در روش شبیه‌سازی مونت‌کارلو با استفاده از یک فرآیند تصادفی و در یک افق زمانی مشخص

به شبیه‌سازی مقادیر ممکن ارزش سبد دارایی به دفعات زیاد اقدام شده و با نزدیک شدن توزیع مقادیر شبیه‌سازی شده به توزیع صحیح و نامشخص سبد دارایی، ارزش در معرض ریسک سبد محاسبه می‌شود (ناطقیان و همکاران، ۱۴۰۱). اما در روش شبیه‌سازی تاریخی، سناریوسازی ارزش آتی سبد دارایی بر اساس اطلاعات گذشته از ارزش دارایی‌های موجود در سبد انجام شده و بازده شبیه‌سازی شده سبد، به‌عنوان مبنای محاسبه ارزش در معرض ریسک سبد درنظر گرفته می‌شود (آقامحمدی و همکاران، ۱۳۹۹). در این پژوهش با توجه به دسترسی به اطلاعات گذشته دارایی‌های پرتفوی و تایید عملکرد شبیه‌سازی تاریخی در مطالعات گذشته، از روش شبیه‌سازی تاریخی استفاده می‌شود.

الگوریتم کلونی مصنوعی زنبورعسل[1]

الگوریتم کلونی مصنوعی زنبورعسل، یک الگوریتم بهینه‌سازی است که توسط کاراباگو در سال ۲۰۰۵ برای بهینه‌سازی پارامترهای واقعی معرفی شده‌است. این الگوریتم رفتار گروهی زنبورهای عسل برای جست-وجوی منبع‌غذایی و یافتن غذا را شبیه‌سازی می‌کند. الگوریتم کلونی مصنوعی زنبورعسل، شامل سه نوع زنبور از جمله زنبورهای کارگر[2]، زنبورهای ناظر [3]و زنبورهای پیشاهنگ[4] است. نیمی از جمعیت زنبورها، شامل زنبورهای کارگر است و نیم دیگر آن را زنبورهای ناظر تشکیل می‌دهند. جمعیت کل زنبورها برابر با تعداد منابع غذایی یا همان تعداد جواب‌هاست. در الگوریتم کلونی مصنوعی زنبورعسل منابع اولیه غذایی بطورتصادفی و مطابق با رابطه (۱۲) تعریف می‌شوند:

$$X_{ij} = X_{jmin} + rand\,(0,1)(X_{jmax} - X_{jmin}) \qquad (۱۲)$$

که در آن S_n ....و۲و۱ = i و D...و۲و۱ =j است و i شمارنده زنبورهای موجود در الگوریتم، S_n اندازه جمعیت اولیه زنبورها، D تعداد متغیرهای مسئله و X_j^{min} و X_j^{max} حد پایین و حد بالای مقادیر متغیرهای مسئله هستند.

هر زنبور کارگر فقط با یک منبع غذایی مرتبط است. از این رو، تعداد موقعیت‌های منبع غذایی برابر با تعداد زنبورهای کارگر است. یک زنبورکارگر بسته به اطلاعات محلی، تغییری در موقعیت منبع غذایی خود ایجاد کرده و سپس کیفیت آن را ارزیابی می‌کند. درالگوریتم کلونی مصنوعی زنبورعسل، یافتن منبع غذایی همسایه با استفاده از رابطه (۱۳) انجام می‌شود:

$$V_{ij} = X_{ij} + \emptyset(i,j)(X_{ij} - X_{kj}) \qquad (۱۳)$$

که در آن $k \in [1,SN]$ و $j \in [1,D]$ است: مقدار k بصورت تصادفی انتخاب می‌شود، به طوری‌که $k \neq i$، X_{kj} یک همسایگی برای $X_{i,j}$ در جمعیت فعلی، V_{ij} یک همسایگی جدید و $\emptyset_{(i,j)}$ یک عددتصادفی در بازه [۱و۱-] است.

1. Artificial Bee Colony Algorithm
2. Employed Bees
3. Onlooker Bees
4. Scout Bees

یک انتخاب حریصانه بین X_i و V_i اعمال می‌شود. اگر منبع V_i از لحاظ میزان شهد و شایستگی از X_i برتر باشد، زنبورکارگر موقعیت جدید را به خاطر می‌سپارد و موقعیت قدیمی را فراموش می‌کند؛ درغیر این صورت، موقعیت قبلی را در حافظه خود حفظ می‌کند. از رابطه (۱۴) به‌منظور محاسبه میزان شایستگی هر راه‌حل استفاده می‌شود:

$$\text{Fit}_i=\begin{cases}\frac{1}{1+f(x_i)} & if \quad f(x_i)\geq 0\\ 1+f(x_i) & if \quad f(x_i)<0\end{cases} \qquad (۱۴)$$

در فرمول بالا $f(x_i)$ مقدار تابع هدف برای راه‌حل موردنظراست.

زمانی‌که منبع غذایی از شایستگی لازم برخوردار نباشد یا به‌عبارتی یک منبع پایان یابد، زنبور کارگر این منبع غذایی را رها کرده و به زنبور پیشاهنگ تبدیل می‌شود. زنبورهای کارگر اطلاعاتی در مورد مقدار شهد و موقعیت منابع غذایی خود با زنبورهای ناظر در منطقه رقص به اشتراک می‌گذارند. زنبورهای ناظر اطلاعات مربوط به مقادیر شهدی که از همه زنبورها بدست آورده‌اند، تحلیل و ارزیابی می‌کنند و یک موقعیت منبع غذایی را که احتمال آن متناسب با مقدار شهد آن است انتخاب می‌کنند. این انتخاب احتمالی به مقادیر شایستگی راه‌حل‌های موجود بستگی دارد. برای محاسبه احتمال متناسب با مقدار شهد و میزان شایستگی هرمنبع از رابطه (۱۵) استفاده می‌شود:

$$P_i=\frac{fit_i}{\sum_{i=1}^{n} fit_n} \qquad (۱۵)$$

در این رابطه، fit_i: مقدار شایستگی منبع غذایی متناظر با زنبور i ام و S_n: تعداد راه حل موجود است.

در فرآیند انتخاب احتمالی، با افزایش مقدار شهد منابع غذایی، تعداد ناظرانی که از آن منابع غذایی بازدید می‌کنند نیز افزایش می‌یابد. در الگوریتم کلونی مصنوعی زنبورعسل، برای هر منبع غذایی یک عدد واقعی تصادفی در محدوده [۰،۱] تولید می شود. اگر مقدار احتمال متناسب بامیزان شهد و شایستگی منبع غذایی که از معادله (۱۶) بدست می‌آید بیشتر از این عدد تصادفی باشد، زنبورناظر مانند زنبورهای کارگر بااستفاده از معادله (۱۴) تغییری در موقعیت منبع غذایی ایجاد می‌کند. پس از ارزیابی منبع غذایی، انتخاب حریصانه اعمال می‌شود و زنبور ناظر یا موقعیت جدید را با فراموش کردن موقعیت قبلی به خاطر می‌سپارد یا موقعیت قبلی را حفظ می‌کند. به‌منظور اجتناب از به دام افتادن در مینیمم محلی، جوابی که مقدار شمارنده آن ازحد متروکه شدن بزرگتر باشد رها می‌شود و زنبور کارگر متناظر با آن به زنبور پیشاهنگ تبدیل شده و پس از آن براساس جستجوی تصادفی مطابق با رابطه (۱۳) جواب جدیدی می‌یابد. زنبور پیشاهنگ جواب فعلی را از حافظه خود حذف کره و جواب جدید را جایگزین آن می‌کند و شمارنده جواب حذف شده مقدار صفر به خود می‌گیرد. بهترین جواب‌ها در هربار تکرار الگوریتم انتخاب و ثبت می‌شود و تازمانی که تعداد تکرارها به حداکثر تعداد چرخه مورد نظر برسد این پروسه تکرار می‌شود.

تجزیه و تحلیل داده‌ها

در این پژوهش هدف مدل‌سازی و ارائه بهترین رویکرد جهت بهینه‌سازی سبد متشکل از پنج کلاس دارایی شامل ارزهای خارجی (دلار و یورو)، ارزهای دیجیتال (بیت‌کوین، اتریوم، لایت‌کوین، ریپل و استلار)،

طلا (سکه امامی)، سهام (شاخص سهام بانک‌ها، خودرو، زراعت، فرآورده‌های نفتی، فلزات اساسی و محصولات چوبی) و صندوق‌های سرمایه‌گذاری مشترک در سه گروه صندوق‌های سرمایه‌گذاری با درآمدثابت (آتیه نوین و سپهرتدبیرگران)، صندوق‌های سرمایه‌گذاری سهام (صندوق مشترک آگاه و فیروزه موفقیت) و صندوق‌های سرمایه‌گذاری مختلط (سپهرآشنا و کیمیای کاردان) است. داده‌های روزانه ارزش ریالی ارزهای خارجی، طلا، سهام و صندوق‌های سرمایه‌گذاری مشترک در بازه زمانی ابتدای مردادماه سال ۱۳۹۴ تا انتهای آذر ۱۴۰۰ از سایت‌های شبکه اطلاع رسانی طلا، سکه و ارز ، بورس اوراق بهادار تهران، بورس کالای ایران و مرکز پردازش اطلاعات مالی ایران استخراج شد. داده روزانه ارزش دلاری ارزهای دیجیتال نیز در همین بازه‌ی زمانی از سایت کوین مارکت‌کپ[1] استخراج شد. از آنجایی که هدف از این مقاله بهینه‌سازی سبد انواع دارایی در بازار داخلی ایران است، ارزش ریالی ارزهای دیجیتال در بازه‌ی زمانی مدنظر محاسبه شد. داده‌های بازه‌ی مذکور به دو بخش درون نمونه(ابتدای مردادماه ۱۳۹۴ تا انتهای اسفندماه ۱۳۹۹) و برون نمونه(ابتدای فروردین‌ماه ۱۴۰۰ تا انتهای آذرماه ۱۴۰۰) دسته‌بندی شد. ارزش ریالی و بازده دارایی‌ها به روش شبیه‌سازی تاریخی و با سناریوسازی برای آینده براساس داده‌های تاریخی محاسبه شده و به‌عنوان ورودی‌های مسئله در نظرگرفته شد. آماده‌سازی و پیش پردازش داده‌ها در نرم‌افزار اکسل۲۰۱۶ انجام شده و جهت انجام آزمون مانایی از نرم‌افزار ایویوز۱۰ استفاده شد. تنظیم پارامترها، پیاده‌سازی، اجرای مدل‌ها و الگوریتم‌ها و رسم مرز کارا در محیط نرم‌افزار متلب ۲۰۱۶ انجام شد. در ادامه، به‌منظور انجام آزمون زوجی از نرم‌افزار SPSS24 استفاده شد.

به‌منظور جلوگیری از ایجاد رگرسیون کاذب بایستی قبل از انجام هر کاری از مانایی داده‌ها اطمینان حاصل کرد. چرا که آگاهی درست از ارتباط بین کلاس‌های مختلف دارایی در مدل‌های بهینه‌سازی سبد دارایی از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. این درحالی است که وجود رگرسیون کاذب با تاثیر جدی بر رفتار دارایی‌ها، باعث عدم سازگاری ضرایب برآورد شده می‌شود و در نتیجه، به عنوان مانعی است که پژوهشگران را از استنباط درست از میزان ارتباط و وابستگی بین دارایی‌ها باز می‌دارد. در این پژوهش، علاوه بر آزمون مانایی دیکی-فولر از آزمون مانایی فیلیپس-پرون نیز استفاده شده است تا ضمن ارزیابی مانایی داده‌ها، از عدم‌وجود پدیده شکست ساختاری که در نتیجه، عواملی چون تغییر در شرایط بازار پایه و قوانین و مقررات حاکم بر بازار و... ایجاد می‌شود، اطمینان حاصل گردد. نتایج حاصل از آزمون مانایی بازده دارایی‌ها در جدول۱ ارائه شده‌است و بیانگر آن است که براساس دو آزمون مانایی دیکی-فولر و فیلیپس-پرون بازده دارایی‌های پژوهش با کسب احتمال کمتر از ۰/۰۵ مانا هستند. از طرفی براساس آزمون فیلیپس-پرون فرضیه وجود پدیده شکست ساختاری رد می‌شود.

1. Coinmarketcap

جدول۱. آزمون‌های مانایی دیکی-فولر و فیلیپس-پرون

متغیر	نام آزمون	آماره	آماره درسطح۰/۰۱	آماره درسطح۰/۰۵	آماره درسطح۰/۱۰	احتمال	مانایی
دلار	دیکی-فولر	-۳۰/۰۳	-۳/۴۳	-۲/۸۶	-۲/۵۶	۰/۰۰۰۰	I(0)
	فیلیپس-پرون	-۴۰/۷۴	-۳/۴۳	-۲/۸۶	-۲/۵۶	۰/۰۰۰۰	I(0)
یورو	دیکی-فولر	-۳۴/۶۷	-۳/۴۳	-۲/۸۶	-۲/۵۶	۰/۰۰۰۰	I(0)
	فیلیپس-پرون	-۳۴/۶۹	-۳/۴۳	-۲/۸۶	-۲/۵۶	۰/۰۰۰۰	I(0)
بیت‌کوین	دیکی-فولر	-۳۷/۱۸	-۳/۴۳	-۲/۸۶	-۲/۵۶	۰/۰۰۰۰	I(0)
	فیلیپس-پرون	-۳۷/۱۲	-۳/۴۳	-۲/۸۶	-۲/۵۶	۰/۰۰۰۰	I(0)
اتریوم	دیکی-فولر	-۳۳/۱۵	-۳/۴۳	-۲/۸۶	-۲/۵۶	۰/۰۰۰۰	I(0)
	فیلیپس-پرون	-۳۳/۳۵	-۳/۴۳	-۲/۸۶	-۲/۵۶	۰/۰۰۰۰	I(0)
لایت‌کوین	دیکی-فولر	-۳۳/۸۹	-۳/۴۳	-۲/۸۶	-۲/۵۶	۰/۰۰۰۰	I(0)
	فیلیپس-پرون	-۳۳/۹۴	-۳/۴۳	-۲/۸۶	-۲/۵۶	۰/۰۰۰۰	I(0)
ریپل	دیکی-فولر	-۳۲/۰۷	-۳/۴۳۵	-۲/۸۶	-۲/۵۶	۰/۰۰۰۰	I(0)
	فیلیپس-پرون	-۳۲/۸۳	-۳/۴۳	-۲/۸۶	-۲/۵۶	۰/۰۰۰۰	I(0)
استلار	دیکی-فولر	-۳۲/۰۱	-۳/۴۳	-۲/۸۶	-۲/۵۶	۰/۰۰۰۰	I(0)
	فیلیپس-پرون	-۳۲/۲۲	-۳/۴۳	-۲/۸۶	-۲/۵۶	۰/۰۰۰۰	I(0)
سکه امامی	دیکی-فولر	-۲۸/۶۸	-۳/۴۳	-۲/۸۶	-۲/۵۶	۰/۰۰۰۰	I(0)
	فیلیپس-پرون	-۳۵/۹۶	-۳/۴۳	-۲/۸۶	-۲/۵۶	۰/۰۰۰۰	I(0)
شاخص بانک‌ها	دیکی-فولر	-۱۵/۰۹	-۳/۴۳	-۲/۸۶	-۲/۵۶	۰/۰۰۰۰	I(0)
	فیلیپس-پرون	-۲۷/۳۱	-۳/۴۳	-۲/۸۶	-۲/۵۶۷	۰/۰۰۰۰	I(0)
شاخص خودرو	دیکی-فولر	-۱۴/۳۵	-۳/۴۳	-۲/۸۶	-۲/۵۶	۰/۰۰۰۰	I(0)
	فیلیپس-پرون	-۲۷/۲۶	-۳/۴۳	-۲/۸۶	-۲/۵۶	۰/۰۰۰۰	I(0)
شاخص زراعت	دیکی-فولر	-۳۰/۲۱	-۳/۴۳	-۲/۸۶	-۲/۵۶	۰/۰۰۰۰	I(0)
	فیلیپس-پرون	-۳۰/۳۴	-۳/۴۳	-۲/۸۶	-۲/۵۶	۰/۰۰۰۰	I(0)
شاخص فرآورده‌های نفتی	دیکی-فولر	-۱۰/۸۸	-۳/۴۳	-۲/۸۶	-۲/۵۶	۰/۰۰۰۰	I(0)
	فیلیپس-پرون	-۳۷/۷۷	-۳/۴۳	-۲/۸۶	-۲/۵۶۷	۰/۰۰۰۰	I(0)
شاخص فلزات اساسی	دیکی-فولر	-۱۵/۸۹۵۲	-۳/۴۳۵۴	-۲/۸۶	-۲/۵۶۷۹	۰/۰۰۰۰	I(0)
	فیلیپس-پرون	-۲۶/۸	-۳/۴۳	-۲/۸۶	-۲/۵۶	۰/۰۰۰۰	I(0)
شاخص محصولات‌چوبی	دیکی-فولر	-۲۶/۹۵	-۳/۴۳	-۲/۸۶	-۲/۵۶	۰/۰۰۰۰	I(0)
	فیلیپس-پرون	-۲۷/۵۷	-۳/۴۳	-۲/۸۶	-۲/۵۶	۰/۰۰۰۰	I(0)
صندوق درآمد ثابت آتیه نوین	دیکی-فولر	-۱۱/۲۲	-۳/۴۳	-۲/۸۶	-۲/۵۶	۰/۰۰۰۰	I(0)
	فیلیپس-پرون	-۶۵/۴۶	-۳/۴۳	-۲/۸۶	-۲/۵۶	۰/۰۰۰1	I(0)
صندوق درآمدثابت سپهر تدبیرگران	دیکی-فولر	-۱۱/۲۴	-۳/۴۳	-۲/۸۶	-۲/۵۶	۰/۰۰۰۰	I(0)
	فیلیپس-پرون	-۴۶	-۳/۴۳	-۲/۸۶	-۲/۵۶	۰/۰۰۰1	I(0)
صندوق سهام مشترک آگاه	دیکی-فولر	-۱۵/۹۴	-۳/۴۳	-۲/۸۶	-۲/۵۶	۰/۰۰۰۰	I(0)
	فیلیپس-پرون	-۲۶/۵۸	-۳/۴۳	-۲/۸۶	-۲/۵۶	۰/۰۰۰۰	I(0)
صندوق سهام فیروزه موفقیت	دیکی-فولر	-۱۴/۶۷	-۳/۴۳	-۲/۸۶	-۲/۵۶	۰/۰۰۰۰	I(0)
	فیلیپس-پرون	-۲۶/۲۱	-۳/۴۳	-۲/۸۶	-۲/۵۶	۰/۰۰۰۰	I(0)
صندوق مختلط آرمان‌سپهرآشنا	دیکی-فولر	-۱۰/۰۴	-۳/۴۳	-۲/۸۶	-۲/۵۶	۰/۰۰۰۰	I(0)
	فیلیپس-پرون	-۳۰	-۳/۴۳	-۲/۸۶	-۲/۵۶	۰/۰۰۰۰	I(0)
صندوق مختلط کیمیای کاردان	دیکی-فولر	-۲۵/۲۹	-۳/۴۳	-۲/۸۶	-۲/۵۶	۰/۰۰۰۰	I(0)
	فیلیپس-پرون	-۲۶/۹۲	-۳/۴۳	-۲/۸۶	-۲/۵۶	۰/۰۰۰۰	I(0)

ماخذ: یافته‌های پژوهش

در جدول۲ با مشخص شدن مقادیر مناسب پارامترها، عمل تنظیم پارامترصورت گرفته‌است.

جدول۲. تنظیم پارامترهای الگوریتم‌های فراابتکاری

الگوریتم کلونی مصنوعی زنبورعسل(ABC)		الگوریتم ازدحام ذرات(PSO[1])		الگوریتم رقابت استعماری(ICA[2])	
اندازه جمعیت(nPop)	۵۰	اندازه جمعیت (nPop)	۵۰	اندازه جمعیت(nPop)	۵۰
حداکثر تکرار(MaxIt)	۱۰۰۰	حداکثرتکرار(MaxIt)	۱۰۰۰	حداکثر تکرار(MaxIt)	۱۰۰۰
زنبورناظر(nOnlooker)	۲۵	پارامتر درصد وزن اینرسی(کنترل سرعت) (w)	۱	تعداد امپراطوری(nEmp)	۵
زنبورهای کارگر	۲۵	پارامتر نسبت‌میرایی وزن اینرسی0/99(wdamp)		ضریب تشبیه(β)	۰/۹
حد متروکه شدن منبع غذایی(L) round(0/5*13*nPop)		پارامتر ضریب یادگیری ادراکی (c1)	۲	ضریب هزینه میانگین کلونی‌ها(ξ)	۰/۱
حد بالای ضریب شتابدهی(a)	۱	پارامتر ضریب‌یادگیری اجتماعی(c2)	۲	ضریب فشار انتخاب(α)	۱
-		-		احتمال وقوع انقلاب (pRevolation)	۰/۱
-		-		شدت وقوع انقلاب(μ)	۰/۰۵

ماخذ: یافته‌های پژوهش

بهینه‌سازی سبد چندنوع دارایی در حضور محدودیت‌ها(آزمون درون نمونه)

در جدول۳ میانگین وزن اختصاص یافته به هر یک از دارایی‌ها حاصل از اجراهای متعدد مدل میانگین-ارزش در معرض ریسک شرطی با الگوریتم کلونی مصنوعی زنبور عسل به همراه میانگین معیارهای ارزیابی عملکرد ازجمله بازده، ریسک، نسبت بازده به ریسک، نسبت شارپ و نسبت شارپ شرطی نشان داده شده‌است. در این مقاله همچنین به مقایسه نتایج مدل میانگین-ارزش در معرض ریسک شرطی با سایر مدل‌های میانگین-واریانس، میانگین-نیم‌واریانس، میانگین-قدرمطلق انحرافات، میانگین-ارزش در معرض ریسک پرداخته شده‌است که در جدول۴ نتایج حاصل از پیاده‌سازی گزارش شده‌است.

جدول۳. نتایج بهینه‌سازی مدل میانگین-ارزش در معرض ریسک شرطی با و بدون حضور محدودیت‌ها در الگوریتم کلونی مصنوعی زنبور عسل

دارایی	بدون محدودیت	حد بالا و پایین هر دارایی (۰/۰۲-۰/۲)	حدبالا و پایین گروه دارایی (۰/۰۵-۰/۳۵)	ترکیب دو محدودیت حد بالا و پایین دارایی و گروه دارایی
دلار	۲۰/۰۲	۰/۰۲	۰	۰/۰۲
یورو	۰/۰۰۵	۰/۰۲	۰/۰۵	۰/۰۳
ارزش ریالی بیت کوین	۴۰/۰۰	۰/۰۲	۰	۰/۰۲
ارزش ریالی اتریوم	۵۰/۰۱	۰/۱۶۶	۸۰/۰۴	۰/۱۱۳
ارزش ریالی لایت کوین	۰/۰۲	۰/۰۹۴	۰	۱۰/۰۲
ارزش ریالی ریپل	۰/۰۰۲	۰/۰۲۳	۰	۰/۰۲
ارزش ریالی استلار	۰/۰۰۴	۰/۱۶۲	۰/۳۰۲	۰/۱۷۶
سکه امامی	۰/۰۲۶	۰/۰۲	۰/۰۵	۰/۰۵
شاخص سهام بانک ها	۰/۰۰۳	۰/۰۲	۰	۰/۰۲

1. Particle Swarm Optimization Algorithm
2. Imperialist Competitive Algorithm

دارایی	بدون محدودیت	حد بالا و پایین هر دارایی (۰/۰۲-۰/۲)	حدبالا و پایین گروه دارایی (۰/۰۵-۰/۳۵)	ترکیب دو محدودیت حد بالا و پایین دارایی و گروه دارایی
شاخص سهام خودرو	۰/۰۰۲	۰/۰۲	۰	۰/۰۲
شاخص سهام زراعت	۰/۰۲۲	۰/۰۲	۰	۰/۰۲
شاخص فرآورده های نفتی	۱۰/۱۰	۰/۲	۰/۳۵	۰/۲
شاخص فلزات اساسی	۳۰/۰۰	۰/۰۲	۰	۰/۰۲
شاخص محصولات چوبی	۰/۰۲۳	۴۰/۰۷	۰	۰/۰۷
صندوق درآمد ثابت آتیه نوین	۰/۴۶۲	۰/۰۲	۰	۰/۰۲
صندوق درآمد ثابت سپهرتدبیرگران	۰/۰۳۴	۰/۰۲	۰	۰/۰۲
صندوق سهام مشترک آگاه	۲۰/۰۰	۰/۰۲	۰	۰/۰۲
صندوق سهام فیروزه موفقیت	۳۰/۰۸	۰/۰۲	۰/۲	۰/۱
صندوق مختلط آرمان سپهرآشنا	۰/۰۴۹	۰/۰۲	۰	۰/۰۲
صندوق مختلط کیمیای کاردان	۰/۱۱۶	۰/۰۲	۰	۰/۰۲
بازده	۵۰/۰۰	۰/۰۱۳	۸۰/۰۱	۰/۰۱۲
ریسک(cvar)	۹۰/۰۱	۱۰/۰۷	۰/۰۸۴	۰/۰۶۲
نسبت بازده به ریسک	۰/۲۳۷	۰/۱۸۵	۰/۲۰۹	۰/۱۹۶
نسبت شارپ شرطی	۰/۲۰۴	۰/۱۷۷	۳۰/۲۰	۸۰/۱۸
ریسک(واریانس)	۰/۰۵۹	۰/۱۲۱	۰/۲۰۷	۰/۱۲
نسبت شارپ	۹۰/۰	۰/۱۰۲	۲۰/۰۸	۰/۰۹۷

ماخذ: یافته‌های پژوهش

جدول۴. نتایج ارزیابی عملکرد مدل‌های بهینه‌سازی سبد چند نوع دارایی با و بدون حضور محدودیت‌ها با استفاده از الگوریتم کلونی مصنوعی زنبور عسل

محدودیت مدل		بدون محدودیت	حد بالا و پایین هر دارایی (۰/۰۲-۰/۲)	حدبالا و پایین گروه دارایی (۰/۰۵-۰/۳۵)	ترکیب دو محدودیت حد بالا و پایین دارایی و گروه دارایی
میانگین-واریانس	بازده	۵۰/۰۰	۰/۰۰۸	۱۰/۰	۸۰/۰۰
	ریسک	۰/۰۲	۰/۰۵۲	۰/۰۸۳	۰/۰۵۳
	نسبت بازده به ریسک	۰/۲۵۱	۰/۱۸۶	۱۰/۱۷	۰/۱۷۸
	ریسک(cvar)	۰/۰۳۵	۰/۰۱۶	۰/۰۱۵	۰/۰۱۹
	نسبت شارپ شرطی	۷۰/۱۱	۱۰/۱	۱۰/۱۰	۰/۱۰۶
میانگین -قدرمطلق انحرافات	بازده	۵۰/۰۰	۰/۰۰۳	۳۰/۰۰	۴۰/۰۰
	ریسک	۰/۰۰۹	۰/۰۰۷	۶۰/۰۰	۸۰/۰۰
	نسبت بازده به ریسک	۰/۴۹۹	۷۰/۴۵	۰/۴۲۶	۰/۴۴۷
	ریسک(cvar)	۳۰/۰۲	۰/۰۱۷	۰/۰۱۸	۲۰/۰۱
	نسبت شارپ شرطی	۲۰/۱۸	۰/۱۵۵	۴۰/۱۵	۰/۱۴۷

محدودیت مدل		بدون محدودیت	حد بالا و پایین هر دارایی (۰/۰۲-۰/۰۲)	حدبالا و پایین گروه دارایی (۰/۰۵-۰/۳۵)	ترکیب دو محدودیت حد بالا و پایین دارایی و گروه دارایی
میانگین-نیم واریانس	بازده	۵۰/۰۰	۴۰/۰۰	۴۰/۰۰	۴۰/۰۰
	ریسک	۰/۰۰۹	۰/۰۰۸	۰/۰۰۸	۹۰/۰۰
	نسبت بازده به ریسک	۰/۴۹۹	۶۰/۴	۴۰/۴۷	۰/۴۴۲
	ریسک(cvar)	۲۰/۰۲	۱۰/۰۵	۰/۰۲	۰/۰۲
	نسبت شارپ شرطی	۷۰/۱۸	۰/۱۵۴	۱۰/۱۶	۳۰/۱۵
میانگین-ارزش در معرض ریسک	بازده	۵۰/۰۰	۰/۰۱۳	۳۰/۰۰	۰/۰۰۳
	ریسک	۲۰/۰۱	۰/۰۴۷	۰/۰۱۱	۰/۰۱۴
	نسبت بازده به ریسک	۹۰/۳۸	۰/۲۸۱	۸۰/۲۳	۰/۲۳
	ریسک(cvar)	۰/۰۱۹	۲۰/۰۷	۲۰/۰۱	۹۰/۰۱
	نسبت شارپ شرطی	۳۰/۲۰	۰/۱۷۵	۲۰/۱۸	۴۰/۱۷
میانگین-ارزش در معرض ریسک شرطی	بازده	۵۰/۰۰	۰/۰۱۳	۸۰/۰۱	۰/۰۱۲
	ریسک(cvar)	۹۰/۰۱	۱۰/۰۷	۰/۰۸۴	۰/۰۶۲
	نسبت بازده به ریسک	۰/۲۳۷	۰/۱۸۵	۰/۲۰۹	۰/۱۹۶
	نسبت شارپ شرطی	۰/۲۰۴	۰/۱۷۷	۳۰/۲۰	۸۰/۱۸

ماخذ: یافته‌های پژوهش

همانطورکه در جداول ۳ و ۴ مشاهده می‌شود، هنگامی‌که هر یک از محدودیت‌های حد بالا و پایین هر دارایی،حداقل و حداکثر وزن گروه دارایی و یا ترکیب این دو محدودیت به مدل‌های مدنظر این مقاله اضافه شود نسبت شارپ شرطی مدل‌ها کاهش می‌یابد. این کاهش در میانگین نسبت بازده به ریسک نیز مشهود است. همچنین پس از ارزیابی نتایج حاصل از اجرای الگوریتم کلونی مصنوعی براساس مدل‌های مختلف می‌توان به این مهم دست‌یافت که مدل میانگین-ارزش در معرض ریسک شرطی برتری خود را اثبات کرده و حتی با ورود محدودیت‌های دنیای واقعی به این مدل‌ها باز هم برتری خود راحفظ می‌کند چرا که این مدل در حضور محدودیت حد بالا و پایین هر دارایی و محدودیت حداقل و حداکثر وزن گروه دارایی و یا ترکیبی از این دو محدودیت‌ها در مقایسه با سایر مدل‌ها نسبت شارپ شرطی بالاتری دارد.

در جدول (۵) عملکرد سه الگوریتم رقابت استعماری، ازدحام ذرات و کلونی مصنوعی زنبور عسل در حضور محدودیت حدبالا و پایین هر دارایی، حداقل و حداکثر وزن گروه دارایی و ترکیب این دو محدودیت برای بهینه‌سازی مدل میانگین-ارزش در معرض ریسک شرطی قابل مقایسه است و با نتایج حاصل از اجرای این مدل در صورت عدم وجود محدودیت مقایسه می‌شود. بر اساس نتایج اجرای این پژوهش، چه در حضور محدودیت‌ها وچه در غیاب آن، الگوریتم کلونی مصنوعی زنبور عسل با دستیابی به میانگین بازده، نسبت

شارپ و نسبت شارپ شرطی بیشتر و کسب ریسک کمتر برتری خود را به نسبت دو الگوریتم دیگر اثبات می‌کند و بهینه‌سازی پرتفوی با الگوریتم کلونی مصنوعی زنبور عسل، این امکان را برای سرمایه‌گذاران فراهم می‌کند که ضمن افزایش بازده، ریسک سرمایه‌گذاری خود را کاهش دهند.

جدول۵. عملکرد الگوریتم‌های رقابت استعماری، ازدحام ذرات و کلونی مصنوعی زنبور عسل در بهینه-سازی مدل میانگین-ارزش در معرض ریسک شرطی

محدودیت	الگوریتم	رقابت استعماری	ازدحام ذرات	کلونی مصنوعی زنبور عسل
		میانگین	میانگین	میانگین
بدون محدودیت	بازده	۵۰/۰۰	۵۰/۰۰	۵۰/۰۰
	ریسک(cvar)	۰/۰۲۱	۰/۰۱۹	۹۰/۰۱
	نسبت بازده به ریسک	۰/۲۰۹	۰/۲۳۵	۰/۲۳۷
	نسبت شارپ شرطی	۰/۱۷۹	۰/۲۰۲	۰/۲۰۴
حد بالا و پایین هر دارایی (0/02-0/2)	بازده	۰/۰۰۳	۴۰/۰۰	۰/۰۱۳
	ریسک(cvar)	۰/۰۱۶	۸۰/۰۱	۱۰/۰۷
	نسبت بازده به ریسک	۰/۱۸۵	۳۰/۲۰	۰/۱۸۵
	نسبت شارپ شرطی	۰/۱۵۱	۰/۱۷۱	۰/۱۷۷
حدبالا و پایین گروه دارایی(0/35-0/05)	بازده	۴۰/۰۰	۰/۰۰۴	۸۰/۰۱
	ریسک(cvar)	۰/۰۱۸	۰/۰۱۹	۰/۰۸۴
	نسبت بازده به ریسک	۳۰/۲۱	۹۰/۲۱	۰/۲۰۹
	نسبت شارپ شرطی	۳۰/۱۸	۹۰/۱	۳۰/۲۰
دو محدودیت حد بالا و پایین دارایی و گروه دارایی	بازده	۴۰/۰۰	۴۰/۰۰	۰/۰۱۲
	ریسک(cvar)	۲۰/۰	۲۰/۰	۰/۰۶۲
	نسبت بازده به ریسک	۹۰/۱۸	۰/۱۹	۰/۱۹۶
	نسبت شارپ شرطی	۱۰/۱۶	۰/۱۶۲	۸۰/۱۸

ماخذ: یافته‌های پژوهش

بهینه‌سازی سبد چندنوع دارایی در حضور محدودیت‌ها(آزمون برون نمونه)

از مقایسه نتایج جدول ۶ می‌توان دریافت که دربازه زمانی تست در الگوریتم کلونی مصنوعی زنبور عسل، مدل توسعه یافته با معیار ارزش در معرض ریسک شرطی بدون حضور محدودیت به میانگین شارپ۰/۰۹۶ و شارپ شرطی۰/۰۴۶دست یافته‌است. در حضور محدودیت حد بالا و پایین دارایی میانگین شارپ و شارپ شرطی مدل میانگین-ارزش در معرض ریسک شرطی به ترتیب به مقادیر۰/۰۶۳ و ۰/۰۳۲می‌رسد. در محدودیت حداقل و حداکثر وزن گروه دارایی میانگین شارپ و شارپ شرطی به ارقام ۰/۰۵۴و ۰/۰۳۱می‌رسد. در حالیکه در ترکیب این دو محدودیت میانگین شارپ و شارپ شرطی به‌ترتیب برابر با ۰/۰۵۵ و ۰/۰۲۷می‌باشد. آنچه مسلم است این است که با افزودن محدودیت‌های دنیای واقعی به این مدل، میانگین شارپ و شارپ شرطی کاهش می‌یابد و به این معناست در امر سرمایه‌گذاری در مواجهه با محدودیت‌های دنیای واقعی امکان برآورده‌کردن ۱۰۰٪ انتظارات سرمایه‌گذاران میسر نیست.

جدول۶: نتایج ارزیابی عملکرد مدل‌های بهینه‌سازی سبد چند نوع دارایی با و بدون حضور محدودیت‌ها در الگوریتم کلونی مصنوعی زنبور عسل(برون نمونه)

محدودیت / مدل		بدون محدودیت	حد بالا و پایین هر دارایی (۰,۲-۰,۰۲)	حدبالا و پایین گروه دارایی (۰,۳۵-۰,۰۵)	ترکیب دو محدودیت حد بالا و پایین دارایی و گروه دارایی
میانگین-واریانس	بازده	۰/۰۰۲	۰/۰۰۲	۲۰/۰۰	۰/۰۰۱
	ریسک(واریانس)	۶۰/۰۱	۹۰/۰۱	۵۰/۰۱	۰/۰۱۴
	نسبت بازده به ریسک	۴۰/۱۳	۰/۱۰۶	۰/۱۱۲	۶۰/۰۹
	نسبت شارپ	۶۰/۰۹	۱۰/۰۷	۰/۰۶۳	۰/۰۵۲
	ریسک(cvar)	۰/۰۳۳	۴۰/۰۴	۷۰/۰۳	۰/۰۳۳
	نسبت شارپ شرطی	۵۰/۰۴	۵۰/۰۲	۰/۰۱۵	۰/۰۱۸
میانگین-قدرمطلق انحرافات	بازده	۲۰/۰۰	۰/۰۰۲	۲۰/۰۰	۰/۰۰۱
	ریسک(انحرافات مطلق)	۲۰/۰۱	۴۰/۰۱	۱۰/۰۱	۱۰/۰۱
	نسبت بازده به ریسک	۰/۱۷۹	۰/۱۴۵	۶۰/۱۵	۰/۱۳۳
	ریسک(واریانس)	۶۰/۰۱	۰/۰۲	۹۰/۰۱	۶۰/۰۱
	نسبت شارپ	۰/۰۹۴	۰/۰۵۶	۷۰/۰۳	۰/۰۴۳
	ریسک(cvar)	۴۰/۰۳	۴۰/۰۴	۳۰/۰۴	۴۰/۰۳
	نسبت شارپ شرطی	۰/۰۴۴	۶۰/۰۲	۷۰/۰۰	۱۰/۰۲
میانگین-نیم واریانس	بازده	۰/۰۰۲	۰/۰۰۲	۲۰/۰۰	۰/۰۰۱
	ریسک(نیم واریانس)	۵۰/۰۱	۸۰/۰۱	۰/۰۱۴	۴۰/۰۱
	نسبت بازده به ریسک	۱۰/۱۴	۰/۱۱	۲۰/۱	۱۰/
	ریسک(واریانس)	۶۰/۰۱	۲۰/۰	۹۰/۰۱	۶۰/۰۱
	نسبت شارپ	۵۰/۰۹	۰/۰۵۴	۰/۰۳۸	۰/۰۳۹
	ریسک(cvar)	۰/۰۳۳	۰/۰۴۴	۰/۰۳۷	۴۰/۰۳
	نسبت شارپ شرطی	۵۰/۰۴	۵۰/۰۲	۹۰/۰۱	۹۰/۰۱
میانگین-ارزش در معرض ریسک	بازده	۰/۰۰۲	۲۰/۰۰	۰/۰۰۱	۰/۰۰۱
	ریسک(var)	۰/۰۲۹	۳۰/۰	۸۰/۰۲	۵۰/۰۲
	نسبت بازده به ریسک	۲۰/۰۷	۹۰/۰۴	۰/۰۴۱	۰/۰۴۹
	ریسک(واریانس)	۶۰/۰۱	۷۰/۰۱	۵۰/۰۱	۲۰/۰۱
	نسبت شارپ	۰/۰۹۵	۰/۰۴۲	۷۰/۰۳	۰/۰۳۸
	ریسک(cvar)	۳۰/۰۳	۵۰/۰۳	۵۰/۰۲	۹۰/۰۲
	نسبت شارپ شرطی	۶۰/۰۴	۰/۰۲۹	۸۰/۰۲	۰/۰۲۵
میانگین-ارزش در معرض ریسک شرطی	بازده	۰/۰۰۲	۲۰/۰۰	۲۰/۰۰	۲۰/۰۰
	ریسک(cvar)	۰/۰۳۲	۴۰/۰	۰/۰۳	۲۰/۰۳
	نسبت بازده به ریسک	۵۰/۰۶	۰/۰۴۸	۵۰/۰۵	۷۰/۰۴
	ریسک(واریانس)	۰/۰۱۵	۰/۰۲۲	۰/۰۲	۰/۰۱۵
	نسبت شارپ	۶۰/۰۹	۰/۰۶۳	۴۰/۰۵	۰/۰۵۵
	نسبت شارپ شرطی	۰/۰۴۶	۲۰/۰۳	۱۰/۰۳	۰/۰۲۷

ماخذ: یافته‌های پژوهش

از سویی در مقایسه بین مدل‌ها، مدل‌میانگین-ارزش در معرض ریسک شرطی در حضور محدودیت حدبالا و پایین هر دارایی(با میانگین شارپ شرطی۰/۰۳۲) با کسب نسبت شارپ شرطی بالاتر، نسبت به مدل‌های میانگین-واریانس(با میانگین شارپ شرطی۰/۰۲۵)، میانگین-قدرمطلق انحرافات(با میانگین شارپ شرطی ۰/۰۲۶)، میانگین-نیم‌واریانس(با میانگین شارپ شرطی۰/۰۲۵) و میانگین-ارزش در معرض ریسک(با میانگین شارپ شرطی۰/۰۲۹) عملکرد بهتری از خود به نمایش می‌گذارد.

از نتایج جدول (۷) می‌توان دریافت که در مدل میانگین-ارزش در معرض ریسک شرطی بدون حضور محدودیت-ها، الگوریتم رقابت استعماری به بازده۰/۰۰۲، ریسک۰/۰۴۲، نسبت بازده به ریسک۰/۰۴۹، نسبت شارپ۰/۰۷۸و نسبت شارپ شرطی۰/۰۳۵دست‌یافته‌است. مقادیر این پارامترها در الگوریتم ازدحام ذرات به ترتیب برابر با۰/۰۰۲، ۰/۰۳۲، ۰/۶۲، ۰/۰۹، ۰/۰۴۳است درحالی‌که در الگوریتم کلونی مصنوعی زنبور عسل میانگین بازده، ریسک، نسبت بازده به ریسک، نسبت شارپ و نسبت شارپ شرطی به ترتیب مقادیری برابر با ۰/۰۰۲، ۰/۰۳۲، ۰/۰۶۵، ۰/۰۹۶ و ۰/۰۴۶دارد و براساس بازده، نسبت بازده به ریسک، نسبت شارپ و نسبت شارپ شرطی نسبت به دو الگوریتم دیگر برتری دارد. همچنین با درنظر گرفتن محدودیت‌های حد بالا و پایین هر دارایی، حداقل و حداکثر وزن گروه دارایی و محدودیت ترکیبی حدبالا و پایین دارایی و گروه دارایی نیز این برتری به اثبات می‌رسد. به‌طور کلی می‌توان عنوان کرد که نتایج حاصل شده در دوره تست نیز توانایی الگوریتم کلونی مصنوعی زنبور عسل در بهینه‌سازی سبد چند نوع دارایی را در مقایسه با الگوریتم‌های رقابت استعماری و ازدحام ذرات تایید می‌کند.

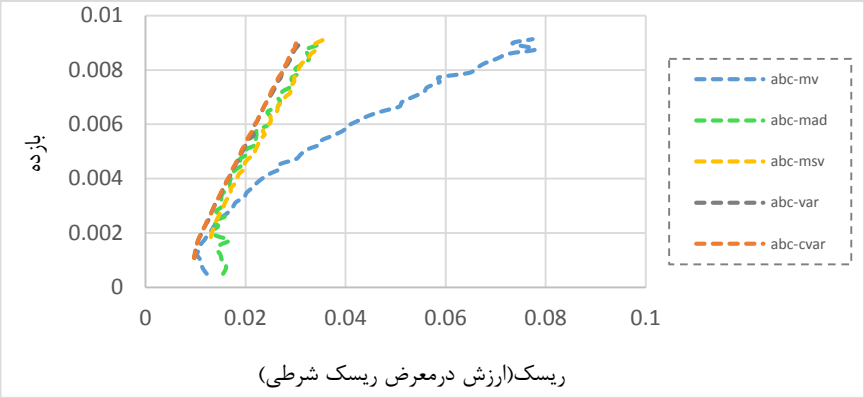
جدول۷: عملکرد الگوریتم‌های رقابت استعماری، ازدحام ذرات و کلونی مصنوعی زنبور عسل براساس سنجه ارزش در معرض ریسک شرطی(برون نمونه)

		بدون محدودیت	حد بالا و پایین هر دارایی (۰,۲-۰,۰۲)	حدبالا و پایین گروه دارایی (۰,۳۵-۰,۰۵)	ترکیب دو محدودیت حد بالا و پایین دارایی و گروه دارایی
رقابت استعماری	بازده	۰/۰۰۲	۲۰/۰۰	۰/۰۰۱	۰/۰۰۱
	ریسک(cvar)	۲۰/۰۴	۰/۰۳۶	۵۰/۰۲	۳۰/۰
	نسبت بازده به ریسک	۹۰/۰۴	۰/۰۴۸	۰/۰۵۴	۰/۰۴۶
	ریسک(واریانس)	۹۰/۰۱	۰/۰۲	۹۰/۰۱	۰/۰۱۲
	نسبت شارپ	۰/۰۷۸	۰/۰۴۹	۳۰/۰۳	۴۰/۰۴
	نسبت شارپ شرطی	۰/۰۳۵	۰/۰۳	۸۰/۰۲	۰/۰۲۶
ازدحام ذرات	بازده	۲۰/۰۰	۲۰/۰۰	۲۰/۰۰	۰/۰۰۱
	ریسک(cvar)	۰/۰۳۲	۸۰/۰۳	۰/۰۲۷	۰/۰۳
	نسبت بازده به ریسک	۲۰/۰۶	۰/۰۴۸	۰/۰۵۴	۰/۰۴۶
	ریسک(واریانس)	۰/۰۱۵	۰/۰۱۹	۰/۰۱۷	۳۰/۰۱
	نسبت شارپ	۰/۰۹	۰/۰۵۶	۰/۰۴۶	۰/۰۴۹
	نسبت شارپ شرطی	۰/۰۴۳	۱۰/۰۳	۳۰/۰	۷۰/۰۲

		بدون محدودیت	حد بالا و پایین هر دارایی (۰,۲-۰,۰۲)	حدبالا و پایین گروه دارایی (۰,۳۵-۰,۰۵)	ترکیب دو محدودیت حد بالا و پایین دارایی و گروه دارایی
کلونی مصنوعی زنبور عسل	بازده	۰/۰۰۲	۲۰/۰۰	۲۰/۰۰	۲۰/۰۰
	ریسک(cvar)	۰/۰۳۲	۴۰/۰	۰/۰۳	۲۰/۰۳
	نسبت بازده به ریسک	۵۰/۰۶	۰/۰۴۸	۵۰/۰۵	۷۰/۰۴
	ریسک(واریانس)	۰/۰۱۵	۰/۰۲۲	۰/۰۲	۰/۰۱۵
	نسبت شارپ	۶۰/۰۹	۰/۰۶۳	۴۰/۰۵	۰/۰۵۵
	نسبت شارپ شرطی	۰/۰۴۶	۲۰/۰۳	۱۰/۰۳	۰/۰۲۷

ماخذ: یافته‌های پژوهش

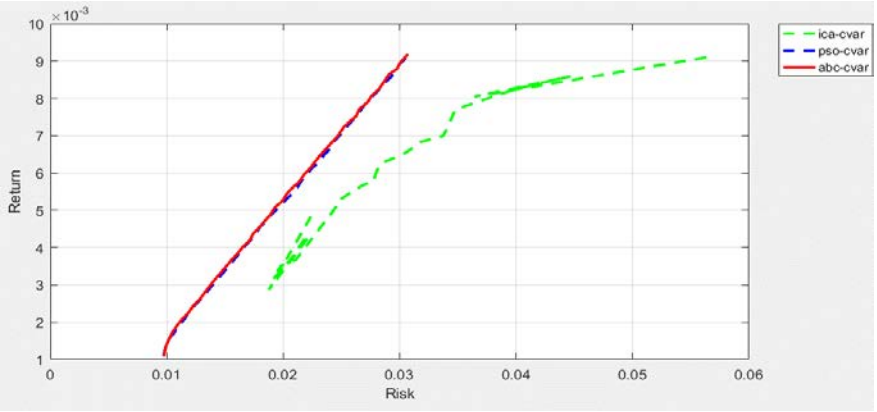
به‌منظور مقایسه بهتر عملکرد مدل‌های میانگین-واریانس، میانگین-نیم‌واریانس، میانگین-قدرمطلق انحرافات، میانگین-ارزش در معرض ریسک و میانگین-ارزش در معرض ریسک شرطی مرز کارای حاصل از این مدل‌ها در یک نمودار و براساس معیار ریسک ارزش در معرض ریسک شرطی ترسیم شده و امکان مقایسه مرز کارای حاصل از این مدل‌ها میسر شد. در شکل۱ به وضوح می‌توان دید که مرز کارای مدل میانگین-ارزش در معرض ریسک شرطی در سمت چپ مرز کارای دیگر مدل‌ها قرارگرفته و با کسب ریسک کمتر و بازده بالاتر، برتر از سایر مدل‌های بهینه‌سازی سبد دارایی است.



شکل۱. مقایسه مرز کارای مدل‌ها در الگوریتم کلونی مصنوعی زنبور عسل

ماخذ: یافته‌های پژوهش

شکل۲ مرز کارای حاصل از سه الگوریتم رقابت استعماری، ازدحام ذرات و کلونی مصنوعی زنبور عسل را به نمایش می‌گذارد.



شکل۲. مرز کارای الگوریتم‌های رقابت استعماری، ازدحام ذرات و کلونی مصنوعی زنبورعسل براساس سنجه ارزش در معرض ریسک شرطی

ماخذ: یافته‌های پژوهش

طبق شکل۲، مرزکارای حاصل از الگوریتم کلونی مصنوعی زنبورعسل براساس سنجه ارزش در معرض ریسک شرطی با دریافت بازدهی بیشتر و ریسک کمتر در سمت چپ مرزکارای الگوریتم‌های رقابت استعماری و ازدحام ذرات قرار دارد که این امر نشان از برتری نسبی الگوریتم کلونی مصنوعی زنبورعسل در مقایسه با این دو الگوریتم دارد.

زمان اجرا

از طرفی الگوریتم‌های فراابتکاری رقابت استعماری، ازدحام ذرات و کلونی مصنوعی زنبور عسل از منظر زمان اجرا مقایسه شدند (جدول ۸). نتایج نشان داد که دو الگوریتم ازدحام ذرات و کلونی مصنوعی زنبور عسل نسبت به الگوریتم رقابت استعماری زمان اجرای کوتاه‌تری دارند اما در مقایسه بین دو الگوریتم ازدحام ذرات و کلونی مصنوعی زنبور عسل نتیجه متفاوت بوده و در مدل‌های مختلف گاها این دو از هم پیشی می‌گیرند. هرچند این دو الگوریتم از لحاظ زمان اجرا با هم اختلاف دارند اما این اختلاف چندان چشمگیر نیست.

جدول۸. مقایسه زمان اجرای الگوریتم‌ها در انواع مدل‌ها برای تشکیل ۵۰ سبد در ۱۰۰۰ تکرار(به ثانیه)

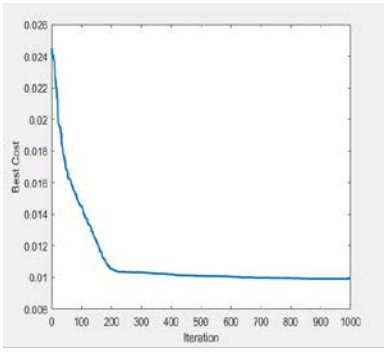
الگوریتم ها/مدل ها	m-v	m-sv	m-ad	m-var	m-cvar
الگوریتم رقابت استعماری	۳۴۵۷/۰۲	۵۰۱۸/۳۲	۳۶۵۵/۹۴	۳۵۵۹/۷۵	۴۲۶۲/۴۳
الگوریتم کلونی مصنوعی زنبور عسل	۲۹۵۳/۳۳	۴۶۲۶/۵۱	۳۳۷۲/۷۴	۳۳۰۵/۶	۳۸۳۶/۱۶
الگوریتم ازدحام ذرات	۲۹۹۴/۰۵	۴۶۰۷/۸۸	۳۰۸۴/۶۶	۳۳۰۹/۰۱	۳۶۶۹/۸۵

ماخذ: یافته‌های پژوهش

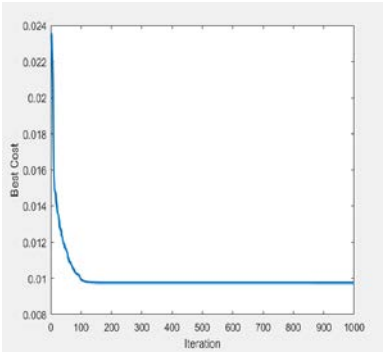
روند همگرایی

یکی از خصوصیات الگوریتم‌های فرابتکاری که از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است روند همگرایی الگوریتم‌ها به جواب بهینه‌است. چراکه الگوریتم‌هایی که سریع‌تر همگرا می‌شوند با سرعت بیشتری از نقاط بهینه موضعی خارج شده و به سمت نقاط بهینه کلی حرکت می‌کنند، بنابراین در زمان کمتری به جواب بهینه دست پیدا خواهند کرد.

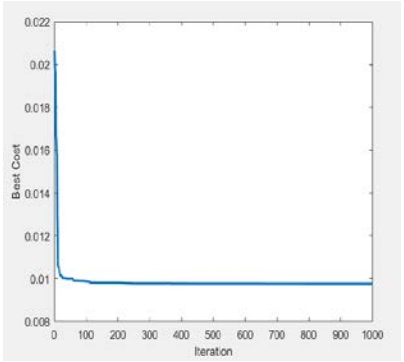
همان‌طور که در شکل‌های۳، ۴ و ۵ مشخص است الگوریتم رقابت استعماری در ۲۰۰ تکرار، الگوریتم ازدحام ذرات در ۱۰۰ تکرار و الگوریتم کلونی مصنوعی زنبور عسل در کمتر از ۱۰ تکرار به جواب بهینه دست می‌یابد. درواقع می‌توان گفت که در الگوریتم کلونی مصنوعی زنبور عسل نسبت به دو الگوریتم دیگر میزان تنزل از جواب اولیه بیشتر است که این امر نشان از توان بالای این الگوریتم در حل مسائل بهینه‌سازی دارد.



شکل۳. روند همگرایی در الگوریتم ICA



شکل۴. روند همگرایی در الگوریتم PSO



شکل۵. روند همگرایی در الگوریتمABC

ماخذ: یافته‌های پژوهش

آزمون زوجی ویلکاکسون

در این بخش به‌منظور تایید نتایج بخش اجرای مدل‌ها و الگوریتم‌ها در دوره آموزش می‌توان از آزمون زوجی کمک گرفت. آزمون زوجی ویلکاکسون یک آزمون مقایسه زوجی است که درآن فرض نرمال بودن توزیع داده‌ها وجود ندارد. در این مقاله به‌منظور تایید نتایج حاصل از اجرای مدل‌های بهینه‌سازی سبد میانگین-واریانس، میانگین-نیم‌واریانس، میانگین-قدرمطلق انحرافات، میانگین-ارزش در معرض ریسک و میانگین-ارزش در معرض ریسک شرطی بدون حضورمحدودیت‌ها از این آزمون استفاده می‌شود. در این راستا میانگین‌های نسبت‌های شارپ شرطی حاصل از۵۰ بار اجرا برای تشکیل۵۰ پرتفوی که براساس مدل‌های مسئله به آن دست یافتیم آزموده می‌شوند. خلاصه‌ای از نتایج آزمون زوجی ویلکاکسون برای مقایسه نسبت شارپ شرطی مدل‌ها در جدول۹ گزارش شده‌است.

جدول۹. آزمون زوجی ویلاکسون برای نسبت شارپ شرطی مدل‌ها در الگوریتم کلونی مصنوعی زنبور عسل

رتبه‌ها					آمار تست	
نسبت شارپ شرطی مدل‌ها در الگوریتم کلونی مصنوعی زنبور عسل		تعداد	میانگین رتبه‌ها	مجموع رتبه‌ها	Zآماره	مقدار احتمال برای آزمون جانبی دو طرفه
abc-mad-mv	رتبه‌های منفی	11[a]	8/18	90/00	-5/285[b]	0/000
	رتبه‌های مثبت	39[b]	30/38	1185/00		
	هم رتبه	0[c]				
	جمع کل	50				
abc-msv-mv	رتبه‌های منفی	4[d]	2/75	11/00	-6/048[b]	0/000
	رتبه‌های مثبت	46[e]	27/48	1264/00		
	هم رتبه	0[f]				
	جمع کل	50				
abc-var-mv	رتبه‌های منفی	0[g]	0/00	0/00	-6/154[b]	0/000
	رتبه‌های مثبت	50[h]	25/50	1275/00		
	هم رتبه	0[i]				
	جمع کل	50				
abc-cvar-mv	رتبه های منفی	0[j]	0/00	0/00	-6/154[b]	0/000
	رتبه های مثبت	50[k]	25/50	1275/00		
	هم رتبه	0[l]				
	جمع کل	50				
abc-msv-mad	رتبه های منفی	32[m]	24/34	779/00	-1/366[c]	0/172
	رتبه های مثبت	18[n]	27/56	496/00		
	هم رتبه	0[o]				
	جمع کل	50				
abc-var-mad	رتبه های منفی	0[p]	0/00	0/00	-6/154[b]	0/000
	رتبه های مثبت	50[q]	25/50	1275/00		
	هم رتبه	0[r]				
	جمع کل	50				

رتبه‌ها				آمار تست	
نسبت شارپ شرطی مدل‌ها در الگوریتم کلونی مصنوعی زنبور عسل		تعداد	میانگین رتبه‌ها	مجموع رتبه‌ها	Zآماره	مقدار احتمال برای آزمون جانبی دو طرفه
abc-cvar-mad	رتبه های منفی	0[s]	0/00	0/00	-6/154[b]	0/000
	رتبه های مثبت	50[t]	25/50	1275/00		
	هم رتبه	0[u]				
	جمع کل	50				
abc-var-msv	رتبه های منفی	7[v]	35/14	246/00	-3/779[b]	0/000
	رتبه های مثبت	43[w]	23/93	1029/00		
	هم رتبه	0[x]				
	جمع کل	50				
msv-abc-cvar	رتبه های منفی	7[y]	34/29	240/00	-3/837[b]	0/000
	رتبه های مثبت	43[z]	24/07	1035/00		
	هم رتبه	0[aa]				
	جمع کل	50				
abc-cvar-var	رتبه های منفی	12[ab]	19/50	234/00	-3/895[b]	0/000
	رتبه های مثبت	38[ac]	27/39	1041/00		
	هم رتبه	0[ad]				
	جمع کل	50				

رتبه‌ها: a. abc-mad < abc-mv b. abc-mad > abc-mv c. abc-mad = abc-mv d. abc-msv < abc-mv e. abc-msv > abc-mv f. abc-msv = abc-mv g. abc-var < abc-mv h. abc-var > abc-mv i. abc-var = abc-mv j. abc-cvar < abc-mv k. abc-cvar > abc-mv l. abc-cvar = abc-mv m. abc-msv < abc-mad n. abc-msv > abc-mad o. abc-msv = abc-mad p. abc-var < abc-mad q. abc-var > abc-ma r. abc-var = abc-mad s. abc-cvar < abc-mad t. abc-cvar > abc-mad u. abc-cvar = abc-mad v. abc-var < abc-msv w. abc-var > abc-msv x. abc-var = abc-msv y. abc-cvar < abc-msv z. abc-cvar > abc-msv abc-cvar = abc-msv ab. abc-cvar < abc-var ac. abc-cvar > abc-var ad. abc-cvar = abc-var

آمار تست: a. Wilcoxon Signed Ranks Test b. Based on negative ranks. c. Based on positive ranks.

ماخذ: یافته‌های پژوهش

از جدول۹ می‌توان دریافت که براساس نسبت شارپ شرطی مدل میانگین-ارزش در معرض ریسک شرطی بهترین مدل در بهینه‌سازی سبد دارایی بوده و با مقدار احتمال۰/۰۵ برای آزمون جانبی دو طرفه فرض برابری نسبت شارپ شرطی رد شده که این امر گواه بر برتری این مدل است. مدل مبتنی بر ارزش در معرض ریسک بعد از ارزش در معرض شرطی در رتبه دوم قرار گرفته و از مدل‌های مبتنی بر واریانس، نیم‌واریانس و قدرمطلق انحرافات برتر است. براساس نسبت شارپ شرطی مدل‌های مبتنی بر نیم‌واریانس و قدرمطلق انحرافات بعد از ارزش در معرض ریسک قرار گرفته و هر دو عملکردی بهتر از مدل میانگین-واریانس دارند. اما در مقایسه نسبت شارپ شرطی دو مدل مبتنی بر قدرمطلق انحرافات و نیم‌واریانس نمی‌توان بطور قطع برتری یک مدل را گزارش داد چرا که در مقایسه میان این دو مدل مقدار احتمال برای آزمون جانبی دو طرفه برابر با ۰/۱۷۲ بوده که این امر نشان از عدم معنادارای اختلاف نسبت شارپ شرطی این دو معیار دارد. از طرفی مدل میانگین-واریانس از نظر معیار ارزیابی عملکرد نسبت شارپ شرطی در مقایسه با سایر مدل‌ها در پایین‌ترین رتبه جای می‌گیرد. بطور کلی می‌توان اذعان کرد که در رتبه‌بندی

براساس معیار نسبت شارپ شرطی، سنجش ریسک با ارزش در معرض ریسک شرطی و ارزش در معرض ریسک به ترتیب در جایگاه اول و دوم قرارگرفته و سنجه‌های ریسک نیم‌واریانس و قدرمطلق انحرافات با برابری تقریبی در جایگاه سوم قرار می‌گیرند و سنجه واریانس جایگاه آخر را به خود اختصاص می‌دهد. همچنین در مقایسه این مدل‌ها در حضور محدودیت‌ها نیز بطور مشابه برتری سنجه ارزش در معرض ریسک شرطی به تایید رسید. نتایج حاصل از آزمون زوجی ویلکاکسون مبنی بر برتری سنجه ارزش در معرض ریسک شرطی، با نتایج حاصل از مطالعات فلاح شمس و همکاران (۱۳۹۲)، نشاطی‌زاده و حیدری (۱۳۹۷) و رن و همکاران (۲۰۱۸) همخوانی دارد.

به‌منظور تایید برتری الگوریتم کلونی مصنوعی زنبور عسل در دوره‌ی آموزش نیز نسبت شارپ شرطی حاصل از اجرای سه الگوریتم دربهینه‌سازی سبد انواع دارایی براساس مدل میانگین-ارزش در معرض ریسک شرطی براساس آزمون زوجی ویلکاکسون آزموده می‌شود (جدول ۱۰). براساس این آزمون از لحاظ عملکرد به ترتیب الگوریتم‌های کلونی مصنوعی زنبورعسل، ازدحام ذرات و رقابت استعماری در جایگاه اول تا سوم قرار می‌گیرد و با دارا بودن احتمال کمتر از ۰/۰۵ فرض برابری عملکرد آن‌ها رد می‌شود.

جدول۱۰. آزمون زوجی ویلاکسون برای نسبت شارپ شرطی الگوریتم‌ها در مدل میانگین-ارزش در معرض ریسک شرطی

رتبه‌ها						آمار تست	
نسبت شارپ شرطی الگوریتم‌ها در سنجه ارزش در معرض ریسک شرطی		تعداد	میانگین رتبه‌ها	مجموع رتبه‌ها	Zآماره	مقدار احتمال برای آزمون جانبی دو طرفه
pso-cvar-ica-cvar	رتبه‌های منفی	0a	0/00	0/00	-6/154b	0/000
	رتبه‌های مثبت	50b	25/50	1275/00		
	هم رتبه	0c				
	جمع کل	50				
abc-cvar-ica-cvar	رتبه‌های منفی	0d	0/00	0/00	-6/154b	0/000
	رتبه‌های مثبت	50e	25/50	1275/00		
	هم رتبه	0f				
	جمع کل	50				
abc-cvar-pso-cvar	رتبه‌های منفی	g۵	16/60	83/00	-5/353 b	0/000
	رتبه‌های مثبت	h۴۵	26/49	1192/00		
	هم رتبه	0i				
	جمع کل	50				

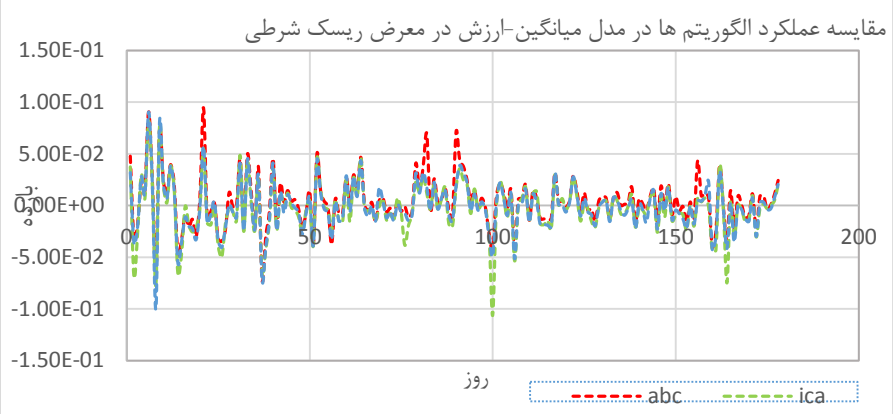
برای رتبه‌ها : a. pso-cvar < ica-cvar b. pso-cvar > ica-cvar c. pso-cvar = ica-cvar d. abc-cvar < ica-cvar e. abc-cvar > ica-cvar f. abc-cvar = ica-cvar g. abc-cvar < pso-cvar h. abc-cvar > pso-cvar i. abc-cvar = pso-cvar

برای آمار تست: a. Wilcoxon Signed Ranks Test b. Based on negative ranks.

ماخذ: یافته‌های پژوهش

با توجه به نتایج پیاده‌سازی و اجرای مدل‌ها در دوره آموزش، معیار ارزش در معرض ریسک شرطی برتری خود را نسبت به سایر معیارهای ارزیابی ریسک نشان داد. همچنین در مقایسه میان سه الگوریتم فرااِبتکاری، الگوریتم کلونی مصنوعی زنبورعسل کاراتر از الگوریتم رقابت استعماری و ازدحام ذرات ارزیابی شد.

در این بخش عملکرد الگوریتم‌های بهینه‌سازی کلونی مصنوعی زنبور عسل، رقابت استعماری و ازدحام ذرات در دوره‌ی برون نمونه(ابتدای فروردین‌ماه تا انتهای آذرماه سال ۱۴۰۰) و براساس پرتفوی‌های بهینه در مدل میانگین-ارزش در معرض ریسک شرطی از طریق شکل۶ مقایسه می‌شود. این شکل بازده روزانه سبدهای پیشنهادی توسط سه الگوریتم رقابت استعماری، ازدحام ذرات و کلونی مصنوعی را مقایسه می‌کند. همانطور که در شکل بالا مشهود است الگوریتم کلونی مصنوعی زنبور عسل در ۹۱٪ مواقع به بازدهی بالاتری نسبت به الگوریتم رقابت استعماری دست یافته‌است که این مقدار در مقایسه با الگوریتم ازدحام ذرات به ۸۳٪ می‌رسد. به‌طور کلی می‌توان دریافت که الگوریتم کلونی مصنوعی زنبور عسل ضمن دستیابی به ریسک کمتر، منجر به افزایش بازده سرمایه‌گذاری شده و به سرمایه‌گذاران در رسیدن به یک سرمایه‌گذاری با بازدهی بالا و ریسک کمتر کمک می‌کند.



شکل۶. مقایسه عملکرد الگوریتم‌ها در مدل میانگین-ارزش در معرض ریسک شرطی(برون نمونه)

ماخذ: یافته‌های پژوهش

نتیجه‌گیری و بحث

امروزه با علم به مزایای تنوع بخشی، تشکیل سبدی متشکل از انواع دارایی که ضمن دستیابی به ریسک کمتر بیشترین عایدی را به‌همراه داشته باشد؛ از اصلی‌ترین اهداف سرمایه‌گذاران محسوب می‌شود. باتوجه به وسعت گزینه‌های سرمایه‌گذاری در سرتاسر جهان به‌ویژه بازار ایران و علیرغم ناپایداری بازار برخی دارایی‌ها از جمله بازار سهام، ارز و طلا و جذابیت سرمایه‌گذاری در کلاس‌های مختلف دارایی برای سرمایه‌گذاران ایرانی، استراتژی مشخصی برای ورود به این بازارها وکسب سود از آن وجود ندارد. این مقاله

با هدف بهینه‌سازی پرتفوی چند نوع دارایی مشتمل بردارایی‌های ریسکی نوین مانند ارزهای دیجیتال و همچنین اوراق با درآمد ثابت و صندوق‌های سرمایه‌گذاری ضمن بررسی فرصت‌های سرمایه‌گذاری در ایران با لحاظ کردن محدودیت‌های دنیای واقعی نظیر محدودیت‌های حداقل و حداکثر وزن دارایی و گروه دارایی انجام شد. به این منظور مدل‌های بهینه‌سازی میانگین-واریانس، میانگین-نیم‌واریانس، میانگین-ارزش در معرض ریسک و میانگین-ارزش در معرض ریسک شرطی را توسعه داده و کارایی الگوریتم‌های فراابتکاری کلونی مصنوعی زنبور عسل، ازدحام ذرات و رقابت استعماری باهدف ارائه بهترین رویکرد به جهت بهینه-سازی سبد دارایی مقایسه شدند. داده‌های روزانه ارزش دارایی‌ها از پنج کلاس مختلف شامل ارزهای خارجی دلار و یور، ارزهای دیجیتال شامل بیت‌کوین، اتریوم، لایت‌کوین، ریپل و استلار، سکه امامی، شاخص‌های سهام بانک، خودرو، زراعت، فرآورده‌های نفتی، فلزات اساسی و محصولات چوبی و صندوق‌های سرمایه‌گذاری با درآمد ثابت آتیه نوین و سپهر تدبیرگران، صندوق‌های سرمایه‌گذاری سهام مشترک آگاه و فیروزه موفقیت و صندوق‌های سرمایه‌گذاری مختلط آرمان سپهرآشنا و کیمیای کاردان از ابتدای مردادماه سال ۱۳۹۴ تا انتهای آذر ۱۴۰۰ استخراج شد.

نتایج نشان داد که در حضور محدودیت‌های پژوهش میزان شارپ شرطی حاصل از مدل میانگین-ارزش در معرض ریسک شرطی به میزان قابل توجهی کاهش یافته‌است. این روند نزولی در میانگین نسبت بازده به ریسک نیز مشهود بود. این نتیجه برای تمامی مدل‌های بهینه‌سازی سبد دارایی صدق می‌کرد. همچنین در مقایسه بین میانگین شارپ شرطی مدل‌های پژوهش مشخص شد که حتی با ورود محدودیت-های دنیای واقعی به این مدل‌ها باز هم سنجه ارزش در معرض ریسک شرطی با کسب میانگین شارپ شرطی بالاتر، برتری خود راحفظ می‌کند. به علاوه در بررسی نتایج حاصل از ۵۰ بار اجرای سه الگوریتم رقابت استعماری، ازدحام ذرات و کلونی مصنوعی زنبور عسل براساس سنجه ارزش در معرض ریسک شرطی در حضور محدودیت‌های حد بالا و پایین دارایی، حداقل و حداکثر وزن گروه دارایی و ترکیب این دو محدودیت، برتری الگوریتم کلونی مصنوعی زنبور عسل به اثبات رسید. به‌جهت اطمینان از صحت نتایج در بخش درون نمونه، عملکرد سنجه‌های ریسک واریانس، نیم‌واریانس، قدرمطلق انحرافات، ارزش در معرض ریسک و ارزش در معرض ریسک شرطی با حضور محدودیت‌های حد بالا و پایین دارایی، حداقل و حداکثر وزن گروه دارایی و ترکیب این دو محدودیت در بازه‌ی زمانی تست آزموده شده و به‌طور مشابه برتری مدل میانگین-ارزش در معرض ریسک شرطی تایید شد. در مقایسه میان الگوریتم‌ها در مدل میانگین-ارزش در معرض ریسک شرطی در بخش برون نمونه، الگوریتم کلونی مصنوعی زنبور عسل با دستیابی به بازده، نسبت بازده به ریسک، نسبت شارپ و نسبت شارپ شرطی بیشتر، عملکردی بهتراز دو الگوریتم دیگر از خود به نمایش گذاشت. در مقایسه مرز کارای مدل‌های تحقیق، مرزکارای حاصل از سبدهای بهینه شده با سنجه ارزش در معرض ریسک شرطی در سمت چپ سایر سنجه‌های ریسک قرارگرفته و با کسب بازدهی بیشتر و ریسک کمتر برتر از سایر سنجه‌های ریسک عمل کرد. همچنین در مقایسه میان مرز کارای حاصل از بهینه‌سازی با الگوریتم‌های کلونی مصنوعی زنبورعسل، ازدحام ذرات و رقابت استعماری، برتری الگوریتم کلونی مصنوعی زنبورعسل در حل مدل به اثبات رسید. به‌منظور تایید معنادارای اختلاف میان سنجه‌های

ریسک وارایانس، نیم‌واریانس، قدرمطلق انحرافات، ارزش در معرض ریسک و ارزش در معرض ریسک شرطی در بهینه‌سازی سبد چند نوع دارایی از آزمون زوجی ویلکاکسون استفاده شده و نتایج نشان از برتری معیار ارزش در معرض ریسک شرطی براساس نسبت شارپ شرطی داشت. همچنین نتایج حاصل از آزمون زوجی ویلکاکسون در مقایسه نسبت شارپ شرطی سه الگوریتم، برتری الگوریتم کلونی مصنوعی زنبور عسل تایید شد.

از نتایج بدست آمده از این مقاله می‌توان استنباط کرد که مدل میانگین-ارزش در معرض ریسک شرطی نسبت به سایر مدل‌های بهینه‌سازی بهتر عمل می‌کند و با بهینه‌سازی این مدل با استفاده از الگوریتم کلونی مصنوعی زنبور عسل می‌توان به سبد بهتری دست‌یافت. به‌منظور توسعه مدل بهینه‌سازی سبد چند نوع دارایی در بازار ایران، موارد زیر برای مطالعات آتی پیشنهاد می‌شود:

- مدلسازی سایر محدودیت‌های دنیای واقعی نظیر محدودیت‌های نقدینگی، فروش استقراضی و...
- ارزیابی عملکرد سایر الگوریتم‌های فراابتکاری به‌ویژه الگوریتم‌های ترکیبی در بهینه‌سازی سبد چند نوع دارایی
- استفاده از الگوریتم‌های فراابتکاری چند هدفه و ارزیابی عملکرد آن‌ها در بهینه‌سازی سبد دارایی
- استفاده از سایر رویکردهای پارامتریک و ناپارامتریک در محاسبه ارزش در معرض ریسک و ارزش در معرض ریسک شرطی از جمله شبیه‌سازی تاریخی موزون، شبیه‌سازی تاریخی بازتابی، شبیه‌سازی تاریخی فیلتر شده و شبیه‌سازی مونت‌کارلو
- ارزیابی میزان تاثیر افزودن ارزهای دیجیتال و صندوق‌های سرمایه‌گذاری مشترک به سبد متشکل از دارایی‌های سنتی از نظر ریسک و بازده

ملاحظات اخلاقی

حامی مالی: مقاله حامی مالی ندارد.
مشارکت نویسندگان: تمام نویسندگان در آماده‌سازی مقاله مشارکت داشته‌اند.
تعارض منافع: بنا بر اظهار نویسندگان در این مقاله هیچ‌گونه تعارض منافعی وجود ندارد.
تعهد کپی‌رایت: طبق تعهد نویسندگان حق کپی‌رایت رعایت شده است.

منابع

Adeli, Omid Ali. (2016). "An Appraisal Of Rating Of Mutual Funds Performance In Iran". *Journal of Financial Economics(Financial Economics and Development)*, 10(36), 87-104. (In Persian)

Aghamohammadi, Ahmad., Ohadi, Fereydoon., Seighaly, Mohsen., and Banimahd, Bahman. (2020). "Estimating the Investment Risk in a Digital Currency Portfolio and Optimizing it Using Value at Risk". *Financial Knowledge of Securities Analysis*, 13(47), 17-31. (In Persian)

Ali, Hanen Ould, and Faouzi Jilani. (2014).“Mean-VAR Model with Stochastic Volatility.” *Procedia- Social and Behavioral Sciences*, 2nd World Conference on Business, Economics and Management, 109(7), 558-566.

Andrianto, Yanuar, and Yoda Diputra. (2018). “The Effect of Cryptocurrency on Investment Portfolio Effectiveness.” *Journal of Finance and Accounting* 5 (6), 229.

Artzner, Philippe, Freddy Delbaen, Jean-Marc Eber, and David Heath. (1999). “Coherent Measures of Risk.” *Mathematical Finance* 9 (3), 203-228.

Baumol, William J. 1963. “An Expected Gain-Confidence Limit Criterion for Portfolio Selection.” *Management Science* 10 (1), 174-182.

Bahri Sales, Jamal., Pakmaram, Askar., and Valizadeh, Mostafa. (2018). . "Selection and Portfolio Optimization by Mean–Variance Markowitz Model and Using the Different Algorithms". *Financial Knowledge of Securities Analysis*, 11(37), 43-53. (In Persian)

Bayat, Ali., and asadi, lida.(2017). "Stock Portfolio optimization: Effectiveness of particle swarm optimization and Markowitz model". *Financial Engineering and Portfolio Management*, 8(32), 63-85. (In Persian)

Bessler, Wolfgang, and Dominik Wolff. (2015). “Do commodities add value in multi-asset portfolios? An out-of-sample analysis for different investment strategies.” *Journal of Banking & Finance* 60,1-20.

Brauneis, Alexander, and Roland Mestel. (2019). “Cryptocurrency-portfolios in a mean-variance framework.” *Finance Research Letters* 28,259-264.

Eskandari, Mahdi., Saeedi, Ali., and Fallahshams, Mir Feyz. (2019). "The effect of Gold on Portfolio Diversification:The case of indexed portfolios from Tehran Stock Exchange". *Journal of Financial Management Perspective*, 9(27), pp. 81-107. (In Persian)

fallahshams, Mirfeiz., abdollahi, Ahmad., and Moghaddassi, Motahare. (2013). "Examining the Performance of Different Risk Criteria in Portfolio Selection and Optimization, Using the Ant Colony Algorithm In companies Listed at the Tehran Stock Exchange". *Financial Management Strategy*,1(2), 15-32. (In Persian)

Heidari, Hassan, and Laya Neshatizadeh. (2018). “Stock Portfolio-Optimization Model by Mean-Semi-Variance Approach Using of Firefly Algorithm and Imperialist Competitive Algorithm.” *International Journal of Business and Development Studies* 10(1), 115-143.

Huang, Jennifer, Clemens Sialm, and Hanjiang Zhang. (2011). “Risk Shifting and Mutual Fund Performance.” *The Review of Financial Studies* 24 (8), 2575-2616.

Kajtazi, Anton, and Andrea Moro. (2019). “The role of bitcoin in well diversified portfolios: A comparative global study.” *International Review of Financial Analysis* 61,143-157.

Karaboga, Dervis, and Beyza Gorkemli. (2014). “A quick artificial bee colony (qABC) algorithm and its performance on optimization problems.” *Applied Soft Computing* 23 , 227-238.

Kazemi Miyangaskari, Mina., Yakideh, Keikhosro., and Gholizadeh, Mohammad Hassan. (2017). "Portfolio Optimization (The Application of Value at Risk Model on Cross Efficiency)". *Financial Management Strategy*,5(2), 159-183. (In Persian)

Konno, Hiroshi, and Hiroaki Yamazaki. (1991). “Mean-Absolute Deviation Portfolio Optimization Model and Its Applications to Tokyo Stock Market.” *Management Science* 37 (5): 519-531.

Koosha, Emad., and Gharib, Iman. (2019). "Optimization of Ansar bank's Customer Loan portfolio using genetic algorithm (Case study of Ansar Bank)". *Financial Management Strategy*,7(4), 125-150. (In Persian)

Kumar, Divya, and K. K. Mishra. (2017). “Portfolio optimization using novel co-variance guided Artificial Bee Colony algorithm.” *Swarm and Evolutionary Computation* 33 , 119-130.

Liu, Weiyi. (2019). “Portfolio diversification across cryptocurrencies.” *Finance Research Letters* 29 , 200-205.

Ma, Yechi, Ferhana Ahmad, Miao Liu, and Zilong Wang. (2020). “Portfolio optimization in the era of digital financialization using cryptocurrencies.” *Technological Forecasting and Social Change* 161 (December): 120265.

Macedo, Luís Lobato, Pedro Godinho, and Maria João Alves. (2017). “Mean-semivariance portfolio optimization with multiobjective evolutionary algorithms and technical analysis rules.” *Expert Systems with Applications* 79 , 33-43.

Markowitz, Harry. (1952). “Portfolio selection.” *The journal of finance* 7 (1), 77-91.

Markowitz, Harry. (1959). “Portfolio selection: efficient diversification of investments.” *Cowies Foundation Monograph*.

Mahmoudi, Vahid., Emamdoost, Mostafa., and Shabanpourfard, Pejman . (2017). " An Investigation Of The Role Of Real Estate In Investors’ Portfolio In Iran". *Journal of Economic Research and Policies*, 24(80), 241-261. (In Persian)

Mishra, Sudhansu Kumar, Ganapati Panda, and Babita Majhi. (2016). “Prediction based mean-variance model for constrained portfolio assets selection using multiobjective evolutionary algorithms.” *Swarm and Evolutionary Computation*. 28 , 117-130.

Mousavi, Somayeh, Esfahanipour, Akbar and Fazel Zarandi, Mohammad Hossein. (2014), “A novel approach to dynamic portfolio trading system using multitree genetic programming.” *Knowledge-Based Systems*, 66, 68-81.

Mousavi, Somayeh, Esfahanipour, Akbar and Fazel Zarandi, Mohammad Hossein. (2015), “MGP-INTACTSKY: Multitree Genetic Programming-based learning of

INTerpretable and ACcurate TSK sYstems for dynamic portfolio trading." *Applied Soft Computing*, 34, 449–462.

Mousavi, Somayeh, Esfahanipour, Akbar and Fazel Zarandi, Mohammad Hossein. (2021), "A modular Takagi-Sugeno-Kang (TSK) system based on a modified hybrid soft clustering for stock selection." Scientia Iranica, Transaction E: Industrial Engineering, 28(4), 2342-2360.

Naderi Nooreini, Mohammad Mehdi. (2018). "The Best Methodology of Estimation of Value-at-Risk in Iranian Mutual Funds". *Journal of Asset Management and Financing*, 6(1), 159-180. (In Persian)

Nateghian, Leila, Jabbarzadeh Kangarlouei, Saeid. bahri sales, Jamal.(2022). "Evaluation of investment portfolio models in mutual fund in global financial markets(with emphasis on multi-objective meta-heuristic algorithm)".*Journal of International Business Administration*, 5(1), 147-166. (In Persian)

Neshatizade, Laya, Haidari, Hassan. (2018). "Studying of Volatility and Risk in Portfolio-Optimization Model Using of Imperialist Competitive Algorithm". *Journal of Econometric Modelling*, 3(4), 11-35. (In Persian)

Petukhina, Alla, Simon Trimborn, Wolfgang K. Härdle, and Hermann Elendner. (2020). "Investing with Cryptocurrencies – evaluating their potential for portfolio allocation strategies." *Social Science Research Network*.

Platanakis, Emmanouil, Charles Sutcliffe, and Andrew Urquhart. (2018). "Optimal vs naïve diversification in cryptocurrencies." *Economics Letters* 171, 93-96.

Rahmani, Mahmoud., Khalili Araghi, Maryam., and Nikoomaram, Hashem. (2020). "Portfolio Selection by Means of Artificial Bee Colony Algorithm and its Comparison with Genetic Algorithm and Ant Colony Algorithm". *Financial Knowledge of Securities Analysis*, 13(45), 31-46. (In Persian)

Rahnama Roodposhti, Fereydoun., Sadeh, Ehsan., Fallahshams, Mirfeiz., Ehteshamrasi, Reza., and Jalilian, Jamil. (2018). "A Portfolio Optimization Model for a Private Equity Investment Company under Data Insufficiency Condition with an Artificial Bee Colony Meta-heuristic Approach". *Financial Engineering and Portfolio Management*, 9(35), 77-104. (In Persian)

Ren, Y., Ye, T., Huang, M., & Feng, S. (2018). "Gray wolf optimization algorithm for multi-constraints second-order stochastic dominance portfolio optimization". *Algorithms*, *11*(5), 72.

Rockafellar, R. Tyrrell; Uryasev, Stanislav (2000). "Optimization of conditional value-at-risk". *Journal of Risk*, 2 (3), 21–42.

Saborido, Rubén, Ana B. Ruiz, José D. Bermúdez, Enriqueta Vercher, and Mariano Luque. (2016). "Evolutionary multi-objective optimization algorithms for fuzzy portfolio selection." *Applied Soft Computing* 39, 48-63.

sabahi, soudeh., Mokhatab Rafiei., Farimah, and Rastegar, MohammadAli. (2020). "Mixed- Asset Portfolio Optimization". *Monetary & Financial Economics*, 27(19), 249-278. (In Persian)

Sedaghati, Moslem., Mehrara, Mohsen., Tehrani, Reza., and Mirlohi, Mojtaba. (2022). . "Comparison of Optimal Portfolio Performance Based on Value at Risk and

Upside Risk with Conventional Models". *Financial Management Strategy*,10(1), 1-30. (In Persian)

Shams Gharneh, Naser., and Shahlaie, Shahaboddin. (2014). "Providing Correct Amount Of Diversification In Portfolio Of Mutual Funds With Respect To The Impact Of Being Sectoral On The Return And Risk Of Mutual Funds". *Journal of Asst Management and Financing*, 3(3), 67-79. (In Persian)

Shiri Ghehi, Amir., Didehkhani, Hosein., Khalili Damghani, Kaveh., and Saeedi, Parviz. (2017). "A Comparative Study of Multi-Objective Multi-Period Portfolio Optimization Models in a Fuzzy Credibility Environment Using Different Risk Measures". *Journal of Financial Management Strategy*, 5 (3), 1-26. (In Persian)

Symitsi, Efthymia, and Konstantinos J. Chalvatzis. (2019). "The economic value of Bitcoin: A portfolio analysis of currencies, gold, oil and stocks." *Research in International Business and Finance* 48 , 97-110.

Tahmasebi, Faramarz. (2015). "Estimate of investment risk in an asset portfolio in Iran". *Journal of Economic Research (Tahghighat- E- Eghtesadi)*, 50(4), 903-923. (In Persian)

Trimborn, Simon, Li Mingyang, and Wolfgang Karl Härdle. (2017). "Investing with cryptocurrencies." WorkingPaper. Humboldt-Universität zu Berlin.

Wen, Xiaoqian, and Duc Khuong Nguyen. (2017). "Can investors of Chinese energy stocks benefit from diversification into commodity futures?" *Economic Modelling* 66 , 184-200.

COPYRIGHTS

©2022 Alzahra University, Tehran, Iran. This license allows others to download the works and share them with others as long as they credit them, but they can't change them in any way or use them commercially.