فصلنامه مهندسی مالی و مدیریت اوراق بهادار
شماره چهل و نه/ زمستان ۱۴۰۰

بهینه‌سازی سبد چند نوع دارایی براساس ارزش در معرض ریسک شرطی با استفاده از الگوریتم کلونی مصنوعی زنبور عسل

سمیه‌السادات موسوی[۱]
عباسعلی جعفری‌ندوشن[۲]
مرضیه کاظمی‌راشنانی[۳]
مهسا محمدطاهری[۴]

تاریخ دریافت مقاله: ۱۴۰۰/۰۲/۱۰ تاریخ پذیرش مقاله: ۱۴۰۰/۰۴/۰۶

چکیده

مدیریت و بهینه‌سازی سبدی متشکل از انواع دارایی با هدف افزایش بازده و کاهش ریسک، همواره مورد توجه سرمایه‌گذاران بوده‌است. باتوجه به تورم در بازار ایران، عملکرد متفاوت دسته‌های دارایی در شرایط مختلف بازار و قابلیت کسب سود بیشتر به همراه ریسک کمتر با متنوع‌سازی انواع دارایی، تشکیل سبدی متشکل از سهام، ارز و کالا ضروری به نظر می‌رسد. در این مقاله دارایی‌هایی از دسته‌هایی شامل سکه امامی، دلار آمریکا و ۱۱ شاخص سهام بخش‌های مختلف صنعت در ترکیب سبد در نظرگرفته شده‌است. با توجه به اهمیت سنجه ریسک در بهینه‌سازی سبد چند نوع دارایی، مدلی براساس ارزش در معرض ریسک شرطی با رویکرد شبیه‌سازی تاریخی توسعه داده‌شده، کارایی آن با مدل میانگین-واریانس مقایسه شده و برای حل مدل‌ها دو الگوریتم کلونی مصنوعی زنبورعسل و رقابت استعماری بکارگرفته‌شد. برای ارزیابی مدل‌ها در بازار ایران، از سری زمانی قیمت روزانه دارایی‌ها در بازه ۱۳۹۲ الی ۱۳۹۸ استفاده شد. نتایج حاصل از مقایسه دو مدل در دوره‌های آموزش و تست نشان داد، در بهینه‌سازی سبد انواع دارایی مدل میانگین-ارزش در معرض ریسک شرطی از میانگین-واریانس عملکرد بهتری دارد. از طرفی براساس نسبت‌های شارپ، شارپ شرطی و بازده به ریسک، سبدهای بهینه‌شده با الگوریتم کلونی مصنوعی زنبورعسل بهتر از الگوریتم رقابت استعماری هستند.

کلمات کلیدی

بهینه‌سازی سبد چند نوع دارایی، ارزش در معرض ریسک شرطی، الگوریتم کلونی مصنوعی زنبورعسل، الگوریتم رقابت استعماری، نسبت شارپ شرطی.

۱-گروه مهندسی صنایع، دانشکده فنی‌مهندسی، دانشگاه میبد، میبد، ایران.(نویسنده مسئول) mousavi@meybod.ac.ir
۲-گروه مهندسی صنایع، دانشکده فنی‌مهندسی، دانشگاه میبد، میبد، ایران. a.jafari@meybod.ac.ir
۳-گروه مهندسی صنایع، دانشکده فنی‌مهندسی، دانشگاه میبد، میبد، ایران. makazemira@gmail.com
۴-گروه مهندسی صنایع، دانشکده فنی‌مهندسی، دانشگاه میبد، میبد، ایران. m.taheri643@gmail.com

مقدمه

وجود بازار سرمایهٔ فعال و پویا از نشانه‌های توسعه‌یافتگی کشورها در سطح بین‌المللی است. مشارکت افراد جامعه در بورس ضامن حیات بازار سرمایه و توسعهٔ پایدار کشور است. عمده‌ترین مسئله‌ای که سرمایه‌گذاران این بازار با آن روبه‌رو هستند، تصمیم‌گیری در زمینهٔ انتخاب دارایی و بهینه‌سازی ترکیب دارایی‌ها در سبد با توجه به ریسک‌پذیری سرمایه‌گذار است. انتخاب دارایی‌های با همبستگی منفی یا کم می‌تواند ریسک کل پرتفوی را تا حدی کاهش دهد بدون اینکه کاهشی در بازده پرتفوی ایجاد شود و این مزیت متنوع‌سازی است [۱۹]. تحقیقات نشان داده است یک کلاس از دارایی می‌تواند در یک بازه خاص عملکردی بهتر نسبت بـه دیگر دارایی‌ها داشته باشد، اما هیچ دارایی وجود ندارد که همواره بهترین عملکرد را از خود نشان دهد. طبق بررسی‌های صورت گرفته از نوسانات بازارهای مالی مختلف در زمان‌های مختلف، رفتار انواع دارایی در شرایط مختلف بازار متفاوت است و هیچ کلاس دارایی وجود ندارد که همواره بیشترین بازده و کمترین ریسک را داشته باشد. در نتیجه انواع کلاس‌های دارایی باید در ترکیب سبد سرمایه‌گذاری در نظر گرفته شوند. برخی دارایی‌ها مانند سهام و کالا از رشد و بازده بالقوه بالایی برخوردارند، برخی از آن‌ها جهت کاهش ریسک در شرایط معمولی بازار مناسبند (دارایی‌های با پوشش ریسک) و برخی از آن‌ها در شرایط بحرانی بازار عملکرد بهتری از خود نشان می‌دهند و جهت کاهش ریسک در شرایط بحرانی انتخاب می‌شوند (پناهگاه‌های امن) [۲۴]. با توجه به اینکه سرمایه‌گذاری به منظور مصرف در آینده انجام می‌شود، دارایی‌هایی مانند ارز و کالا که بازده آن‌ها قدرت خرید واقعی را فراهم می‌کند و به عبارتی متناسب با تورم رشد می‌کند، دارای اهمیت فوق العاده‌ای هستند [۲۰].

از پیشگامان نظریه نوین انتخاب سبد سرمایه‌گذاری می‌توان به نظریه مارکویتز اشاره کرد [۳۰]. مدل مارکویتز دارای مفروضاتی است که آن را از واقعیت دور می‌سازد. در این مدل فرض شده بازده دارایی‌ها از توزیع نرمال پیروی می‌کند در صورتی که در واقعیت توزیع بازده دارایی‌ها نسبت به توزیع نرمال دارای دو انتهای پهن‌تر است. در ادامه پژوهشگران زیادی به دنبال توسعه و اصلاح مدل مارکویتز بودند. در مطالعاتی که تاکنون انجام شده است، معیارهای مختلفی برای اندازه‌گیری ریسک ارائه شده که از بین آن‌ها می‌توان به معیار ارزش در معرض ریسک به عنوان پرکاربردترین سنجه ریسک نامطلوب اشاره کرد [۱۷]. این سنجه بیانگر حداکثر زیان مورد انتظار در یک بازه زمانی مشخص و با یک سطح اطمینان مشخص است. علی‌رغم محبوبیت و رواج ارزش در معرض ریسک، این معیار منسجم[1] نیست و از جمله سنجه‌های ریسک منسجم می‌توان به معیار ارزش در معرض ریسک شرطی یا ریزش مورد انتظار اشاره کرد [۱۸]. در پژوهش‌های اخیر عملکرد الگوریتم‌های فراابتکاری در بهینه‌سازی سبد سهام با

مدل‌های مختلف بررسی شده و با توجه به پیچیدگی مسئله توانایی آن‌ها مورد تایید قرار گرفته است [۳۲]. الگوریتم کلونی مصنوعی زنبور عسل از الگوریتم‌های فراابتکاری است که توانسته سرعت و دقت حل مدل‌های بهینه‌سازی را بهبود دهد. با توجه به موارد فوق، در این مقاله مدلی برای بهینه‌سازی سبد متشکل از انواع مختلف دارایی با استفاده از سنجه ارزش در معرض ریسک شرطی توسعه داده شده و برای حل آن از الگوریتم کلونی مصنوعی زنبورعسل استفاده گردیده است. در ادامه، نخست به بررسی و طبقه‌بندی پیشینه پژوهش و بیان نوآوری و جایگاه مقاله در ادبیات پرداخته می‌شود. سپس مدل بهینه-سازی و الگوریتم‌های مورد استفاده برای حل مدل توصیف می‌شوند. پس از آن عملکرد مدل پیشنهادی در بهینه‌سازی سبد انواع دارایی در بازار ایران برای بازه زمانی هفت‌ساله مورد سنجش و مقایسه قرار می‌گیرد. در نهایت نتایج حاصل از مقاله و پیشنهادات جهت تحقیقات آتی ارائه می‌شود.

مبانی نظری

با توجه به اهمیت انتخاب سبد سرمایه، تاکنون مدل‌ها و روش‌های متعددی توسط محققان برای بهینه‌سازی آن ارائه شده است. از تاثیرگذارترین مطالعات صورت گرفته در این حیطه می‌توان مدل مارکویتز و شارپ را نام برد. تئوری مدرن سبد سرمایه اولین بار در سال ۱۹۵۲ توسط هری مارکوویتز توسعه داده شد به طوری‌که علاوه بر بازده سرمایه‌گذاری، معیار ریسک نیز در نظر گرفته شد [۳۰]. مسأله انتخاب سبد دارایی به عنوان یک مسأله برنامه‌ریزی درجه دوم به صورت زیر فرموله شد که در آن، μ_i بازده سهم iام و μ_p بازده پرتفوی، w_i وزن سهم iام، σ_{ij} کواریانس بازده سهم i و jام، SR_i انحراف استاندارد بازده سهم iام و R_{ij} ضریب همبستگی بین سهام i و jام است.

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

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

s.t.

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

$$0\le w_i\le 1 \qquad i=0,1,2,\ldots,n$$

مدل مارکویتز در برخورد با محدودیت‌های دنیای واقعی ناتوان است. برای مثال زمانی که در سبد سهام تعداد دارایی موجود را به عنوان محدودیت در نظر بگیریم و یا بخواهیم میزان سرمایه‌گذاری در یک دارایی را محدود کنیم، مدل مارکویتز ناتوان می‌ماند [۲۸]. به علاوه روش‌های مرسوم ریاضی نیز در برخی موارد دچار نواقصی هستند. به عنوان مثال زمانی که تعداد دارایی‌ها از حد معینی بالاتر رود این روش‌ها کارایی خود را از دست می‌دهند. در ادبیات شاهد تلاش‌های فراوانی برای بهبود روش‌های تجزیه

و تحلیل سهام و رسیدن به جواب مطلوب و بهینه هستیم. این تلاش‌ها منجر به پیدایش روش‌های نوین برای دستیابی به پاسخ بهینه شده‌است که از آن جمله می‌توان به الگوریتم‌های فراابتکاری اشاره کرد. الگوریتم کلونی مصنوعی زنبورعسل که به جهت بهینه‌سازی عددی توسعه داده شده، مبتنی بر هوش جمعی است و در مقایسه با سایر الگوریتم‌ها عملکرد خوبی از خود نشان داده است [۲۶].

روش‌های سنتی محاسبه ریسک از قبیل انحراف معیار و بتا سنجه‌های مناسبی برای برآورد ریسک نیستند، زیرا تمایزی بین نوسانات مطلوب و نامطلوب قائل نیستند. محاسبه ریسک نامطلوب یکی از مباحث مهم در بررسی‌های مالی است و ارزش در معرض ریسک امکان اندازه‌گیری این نوع ریسک را فراهم می‌سازد. ارزش در معرض ریسک حداکثر زیان مورد انتظار یک دارایی یا مجموعه‌ای از دارایی‌ها را در یک دوره زمانی با سطح اطمینان مشخص نمایان می‌سازد. ارزش در معرض ریسک متغیر تصادفی زیان (X) در سطح اطمینان $1-\alpha$ که با $VaR_\alpha(X)$[۲] نشان داده می شود، به صورت زیر تعریف می‌شود:

$$VaR_\alpha(X) = \inf\{x_\alpha \in R; P(X > x_\alpha) \geq \alpha\} \quad (۲)$$

محاسبه ارزش در معرض ریسک یک دارایی یا سبد دارایی با سه روش مدل‌سازی تحلیلی، شبیه‌سازی تاریخی و شبیه‌سازی مونت‌کارلو انجام می‌شود. شبیه‌سازی تاریخی نسبت به دو روش دیگر مفروضات کمتری دارد. در این روش، از تغییرات تاریخی قیمت‌ها و نرخ‌های بازار به‌منظور شبیه‌سازی و برآورد توزیع احتمالی سود و زیان آتی سبد استفاده می‌شود. از نگاه آماری می‌توان ارزش در معرض ریسک را یافتن مقدار بحرانی برای سطح مورد انتظار عنوان کرد ولی این معیار زیان مورد انتظار در انتهای تابع توزیع بازده و بعد از ارزش در معرض ریسک را در نظر نمی‌گیرد. از طرفی بر اساس تعریف آرتزنر و همکاران یک سنجه ریسک منسجم باید ۴ ویژگی یکنواختی[۳]، همگنی[۴]، تغییرناپذیری[۵] و زیرجمع‌پذیری[۶] را داشته باشد [۱۸]. ارزش در معرض ریسک خاصیت زیرجمع‌پذیری ندارد و یک سنجه ریسک مناسب برای ارزیابی ریسک سبد دارایی نیست. بنابراین پژوهشگران به توسعه سنجه‌های منسجم که به انتهای توزیع بازده و زیان‌های بزرگ تمرکز دارند، روی آوردند. معیار ارزش در معرض ریسک شرطی از جمله این سنجه‌ها است که زیان مورد انتظار بالاتر و یا برابر ارزش در معرض ریسک را در سطح اطمینان مشخص برآورد می‌کند.

پیشینه پژوهش

مارکویتز از پیشگامان نظریه نوین پرتفوی بود و میانگین و واریانس بازده را به عنوان معیار ارزیابی بازده و ریسک سبد مطرح نمود به طوری‌که افراد در سطح یکسانی از بازده به دنبال حداقل‌کردن ریسک

سرمایه‌گذاری می‌باشند [۳۰]. مدل مارکویتز از لحاظ پیچیدگی، از نوع مسائل غیرخطی چندجمله‌ای NP-hard است و برای بهینه‌سازی و حل مدل نیاز به استفاده از روش‌های غیرخطی احساس می‌شود [۲۱]. در سال‌های اخیر پژوهشگران زیادی به کاربرد الگوریتم‌های فرابتکاری در حل مسائل بهینه‌سازی سبد توجه کردند. در حل مسئله انتخاب سبد بهینه سهام با مدل مارکویتز و الگوریتم پرندگان بر اساس ریسک و بازده، نشان داده شد که الگوریتم پرندگان در مقایسه با روش‌های ریاضی از عملکرد بهتری برخوردار است [۴]. برای انتخاب سبد بهینه سهام براساس مدل مارکویتز الگوریتم کلونی مصنوعی زنبور عسل، ژنتیک و مورچگان بکارگرفته شد و نشان داده شد با توجه به معیار شارپ الگوریتم کلونی مصنوعی زنبور عسل نسبت به دو الگوریتم دیگر برتری دارد [۹]. همچنین عملکرد الگوریتم‌های ژنتیک و زنبور عسل برای بهینه‌سازی سبد و محدودیت حداقل مقادیر معاملاتی ارزیابی شد و نتایج نشان داد الگوریتم زنبور عسل نسبت به الگوریتم ژنتیک کارایی بالاتری دارد [۱۰]. مارکویتز مدل میانگین- نیمه واریانس را مطرح نمود و پس از آن الگوریتم‌های فرابتکاری زیادی برای حل این مسئله بکارگرفته شد [۵]. اخیرا مدل میانگین-نیم‌واریانس فازی برای بهینه سازی سبد سهام تهران با محدودیت های هزینه معامله و کاردینالیتی ارائه شد و برای حل مدل الگوریتم جستجوی ناخودآگاه از الگوریتم‌های تجمعی ذرات و ژنتیک عملکرد بهتری نشان داد [۳].

به دلیل مفروضات موجود در مدل کلاسیک مارکویتز معیار نیم‌واریانس نیز مورد انتقاد برخی از محققان قرار گرفت و معیارهای ریسک جدید ارائه شدند که از جمله این معیارها می‌توان ارزش در معرض ریسک و ارزش در معرض ریسک شرطی را نام برد [۱] . هر چند بر اساس نتایج [۱۲] عملکرد بهینه‌سازی سبد سهام با معیار ارزش در معرض ریسک و رویکرد ارزش فرین با مدل میانگین-واریانس مارکویتز تفاوت چشمگیری ندارد اما با مقایسه مدل‌های میانگین-واریانس، میانگین-نیم‌واریانس و میانگین-ارزش در معرض ریسک شرطی برتری معیار ارزش در معرض ریسک شرطی از جهت دقت بالاتر نسبت به بقیه معیارها تایید شده است [۱۶]. برای بهینه‌سازی سبد سهام چند دوره‌ای بر اساس ارزش در معرض ریسک و با در نظرگرفتن محدودیت عدم امکان فروش استقراضی و هزینه معاملاتی، الگوریتم ژنتیک در حل مسائل بهینه‌سازی سبد سهام کارا است [۳۵]. در ادامه این تحقیق نشان داده شد که در حل این مسئله الگوریتم ازدحام ذرات عملکردی بهتر از الگوریتم ژنتیک دارد [۸]. در مقایسه کارایی الگوریتم‌های ترکیبی کلونی مورچگان و ژنتیک برای حل مدل میانگین-ارزش در معرض ریسک، نتیجه حاکی از برتری الگوریتم ترکیبی مورچگان و ژنتیک بود [۲]. جمشیدی و همکاران نشان دادند برای حل مدل میانگین-ارزش در معرض ریسک شرطی، الگوریتم ازدحام ذرات نسبت به الگوریتم‌های ژنتیک و رقابت استعماری عملکرد

بهتری از نظر ارزش پرتفوی و ریسک آن ارائه می‌دهد [۷]. در مطالعه دیگری نشان داده شد که الگوریتم نهنگ نسبت به الگوریتم رقابت استعماری و ازدحام ذرات نیز کاراتر است [۱۴]. تهرانی و همکاران مسئله بهینه‌سازی سبد سهام با سه معیار ارزیابی ریسک واریانس، نیم واریانس و ارزش در معرض ریسک شرطی را بررسی کردند و نمایان شد که بر اساس نسبت شارپ، الگوریتم دسته‌های میگو در یافتن مرزکارا و پرتفوی بهینه از الگوریتم های رقابت استعماری و تجمعی ذرات عملکرد بهتری دارد [۶]. در مقایسه الگوریتم‌های ازدحام ذرات و رقابت استعماری نشان داده شد که ریسک و بازدهی دو الگوریتم از نظر آماری تفاوت معناداری ندارد و الگوریتم رقابت استعماری در زمان کوتاه‌تری به جواب بهینه می‌رسد [۱۵]. با وجود عملکرد خوب الگوریتم کلونی زنبور عسل برای حل مدل مارکویتز در بازار بورس تهران، عملکرد این الگوریتم در بهینه‌سازی مدل میانگین-ارزش در معرض ریسک شرطی بررسی نشده است.

با توجه به مرور ادبیات مربوط به بهینه‌سازی سبدسرمایه‌گذاری می‌توان دریافت که در بررسی‌های صورت‌گرفته بهینه‌سازی سبد سهام یا سبد متشکل از یک نوع دارایی انجام شده است. در حالی‌که به دلایلی که در بخش مقدمه اشاره شد، سرمایه‌گذاران همواره بدنبال سرمایه‌گذاری در سبد شامل انواع دارایی‌ها هستند. هر چند تحقیقاتی برای مدل‌سازی و انتخاب سبد چند نوع دارایی و تخصیص دارایی در بازارهای جهانی انجام شده است [۲۳،۳۳،۳۴] اما در بازار ایران مطالعه‌ای یافت نشد. در این مقاله به انتخاب و تنوع‌بخشی دارایی‌های سبد از کلاس‌های مختلف دارایی در بازار ایران و مدل‌سازی مسئله توجه شده است. همچنین از سنجه ارزش در معرض ریسک شرطی و در حل مدل از الگوریتم فراابتکاری کلونی مصنوعی زنبورعسل که یکی از الگوریتم‌های کارا و با دقت بالا در بهینه‌سازی است، استفاده می‌شود.

سوال‌های پژوهش

پژوهش حاضر به دنبال پاسخ به سوال‌های پژوهشی زیر می‌باشد.

۱. آیا در بهینه‌سازی سبد چند نوع دارایی مرزکارای حاصل از الگوریتم کلونی مصنوعی زنبورعسل نسبت به مرزکارای الگوریتم رقابت استعماری دارای برتری است؟

۲. آیا مدل میانگین-ارزش در معرض ریسک شرطی نسبت به مدل میانگین-واریانس بر اساس بازده، نسبت بازده به ریسک، نسبت شارپ و نسبت شارپ شرطی برتری دارد؟

۳. آیا مدل میانگین-ارزش در معرض ریسک شرطی مدلی مناسب و کارا در حل مسائل بهینه‌سازی سبد چند نوع دارایی در بازار ایران است؟

مدل پژوهش

در این بخش ابتدا مدل پیشنهادی برای بهینه‌سازی سبد متشکل از کلاس‌های مختلف دارایی در بازار ایران توصیف و سپس الگوریتم فراابتکاری کلونی مصنوعی زنبور عسل برای حل مدل تشریح می‌شود.

توسعه مدل بهینه‌سازی سبد چند نوع دارایی با سنجه ارزش در معرض ریسک شرطی

در این پژوهش برای ارزیابی ریسک سبد چند نوع دارایی از سنجه ریسک نامطلوب و منسجم ارزش در معرض ریسک شرطی ($CVaR^{۷}$) یا ریزش مورد انتظار استفاده می‌شود. ارزش در معرض ریسک شرطی در واقع امید ریاضی زیان‌هایی است که بیشتر از مقدار ارزش در معرض ریسک باشند. در صورتی که X یک متغیر تصادفی پیوسته باشد، $CVaR$ به صورت زیر تعریف می‌شود:

$$CVar_{\alpha}(X) = E(X|X > x_{\alpha}) = \frac{\int_{x_{\alpha}}^{\infty} X dF(X)}{1 - F(x_{\alpha})} \quad) \qquad (۳)$$

می‌توان $CVar_{\alpha}(X)$ به صورت زیر نوشت:

$$CVar_{\alpha}(X) = E(X|X > x_{\alpha}) = x_{\alpha} + \frac{\int_{x_{\alpha}}^{\infty} (X - x_{\alpha}) dF(X)}{1 - F(x_{\alpha})} \qquad (۴)$$

حال با استفاده از معیار ارزش درمعرض ریسک شرطی می‌توان مدل بهینه‌سازی سبد را با تابع تک هدفه و به صورت زیر تعریف کرد که در آن n تعداد دسته‌های دارایی‌ها، w_i وزن هر دسته دارایی در سبد و X زیان سبد پیشنهادی، μ_p بازده سبد و μ_{p_0} حداقل بازده مورد انتظار است. x_{α} ارزش در معرض ریسک سبد در سطح اطمینان $1 - \alpha$ است و با روش شبیه‌سازی تاریخی برآورد می‌شود.

$$\text{Min} \frac{\int_{x_{\alpha}}^{\infty} (X - x_{\alpha}) dF(X)}{1 - F(x_{\alpha})} . [1 + \beta \max(0, 1 - \frac{\mu_p}{\mu_{p_0}})] \qquad (۵)$$

s.t.

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

$0 \leq w_i \leq 1 \qquad i = 0,1,2,\ldots,n$

الگوریتم کلونی مصنوعی زنبور عسل

الگوریتم کلونی مصنوعی زنبورعسل در سال ۲۰۰۵ ارائه شد که از شبیه‌سازی رفتار جستجوی غذای گروه‌های زنبورعسل استفاده می‌نماید [۲۵]. این الگوریتم پس از معرفی به مجامع علمی، به دلیل قابلیت‌های ویژه برای حل مسائل بهینه‌سازی مورد استقبال قرار گرفت [۱۳،۲۲،۲۹]. متغیرهای مسئله و میزان برازندگی به ترتیب بر اساس موقعیت منبع غذایی و مقدار شهد منبع غذایی تعریف می‌شوند.

الگوریتم کلونی مصنوعی زنبور عسل با یک جمعیت اولیه از جواب‌های تصادفی ایجاد و با استفاده از تکرار فرآیند، جواب‌های تصادفی بهبود می‌یابند. جمعیت اولیه برای الگوریتم کلونی مصنوعی زنبور عسل از رابطه (۶) بدست می‌آید که در آن S_n ....و۲و۱=i (شمارنده زنبورها)، S_n اندازه جمعیت اولیه، D...و۲و۱=j که D تعداد متغیرهای مسئله، X_j^{min} حد پایین و X_j^{max} حد بالای متغیرهای مسئله هستند.

$$X_{ij} = X_j^{min} + \text{Rand}(0,1)(X_j^{max} - X_j^{min}) \quad (۶)$$

یک زنبور به صورت تصادفی بر اساس رابطه (۷) یک اصلاح بر روی مکان منبع غذایی موجود در حافظه خود ایجاد می‌کند و مقدار شهد منبع جدید را تحت آزمایش قرار می‌دهد. در این رابطه $k \neq i$، S_n ....و۲و۱= K، X_{kj} یک همسایگی برای $X_{i,j}$در جمعیت فعلی، V_{ij} یک همسایگی جدید، $\emptyset_{(i,j)}$ یک عدد تصادفی در فاصله (۱و۱-) و k بصورت تصادفی انتخاب می‌شود.

$$V_{i,j} = X_{ij} + \emptyset_{(i,j)}(X_{ij} - X_{kj}) \quad (۷)$$

پس از ایجاد هر جواب جدید V_{ij}، شایستگی جواب با رابطه (۸) محاسبه شده و بین X_{ij}و V_{ij} جواب شایسته‌تر انتخاب می‌شود که در آن $f(x_i)$مقدار تابع هدف برای راه‌حل است.

$$Fit_i = \begin{cases} \frac{1}{1+f(x_i)} & if \quad f(x_i) \geq 0 \\ 1 + f(x_i) & if \quad f(x_i) < 0 \end{cases} \quad (۸)$$

زنبورهای کارگر پس از تکمیل جستجو، اطلاعات شهد منابع و موقعیت آن‌ها را با زنبورهای ناظر در منطقه رقص به اشتراک می‌گذارند. زنبور ناظر با ارزیابی اطلاعات شهد گرفته شده از همه زنبورهای کارگر، یک منبع غذایی را با احتمال P_i، متناسب با مقدار شهد آن منبع (رابطه ۹) انتخاب می‌کند.

$$P_i = \frac{fit_i}{\sum_{i=1}^{n} fit_n} \quad (۹)$$

منبع غذایی که شهد آن به‌وسیله زنبورها تهی شده است، توسط زنبورهای پیش‌آهنگ با یک منبع ماده غذایی جدید جایگزین می‌شود. در الگوریتم زنبورعسل این عمل با تولید جواب جدید به‌صورت تصادفی انجام می‌شود. همچنین اگر یک جواب پس از یک تعداد تکرار از پیش تعیین شده بهبود نیابد، به‌عنوان منبع غذایی ترک شده تلقی می‌شود.

پیاده‌سازی و اجرای مدل

در این بخش نتایج بهینه‌سازی سبد چند نوع دارایی با معیار ارزش در معرض ریسک شرطی و با استفاده از الگوریتم‌های کلونی مصنوعی زنبور عسل و رقابت استعماری در بازار ایران ارائه شده است و عملکرد مدل میانگین-ارزش در معرض ریسک شرطی با میانگین-واریانس در آزمون‌های درون‌نمونه و

برون‌نمونه مقایسه شده‌است. ابتدا داده‌ها توصیف شده‌اند، سپس مانایی سری زمانی داده‌ها بررسی شده، تنظیم پارامترهای الگوریتم‌های فراابتکاری صورت‌گرفته و در نهایت یافته‌های پژوهش گزارش شده‌اند.

داده‌ها

در این مقاله بهینه‌سازی و برآورد ریسک سبد متشکل از انواع دارایی شامل سکه امامی، دلار آمریکا و شاخص‌های سهام حمل و نقل، بانک، خودرو، دارویی، کاشی و سرامیک، ابزار پزشکی، محصولات چوبی، زراعت، کانه فلزی، فرآورده‌های نفتی و فلزات اساسی انجام شده است. داده‌های روزانه ارزش این دارایی‌ها از ابتدای ۱۳۹۲ تا انتهای ۱۳۹۸ از سایت‌های بورس اوراق بهادار تهران، بورس کالای ایران، شبکه اطلاع‌رسانی طلا، سکه و ارز و سری زمانی متغیرهای اقتصادی بانک مرکزی استخراج شده است. داده‌ها به دو دوره آموزش (ابتدای ۱۳۹۲ تا آبان ۱۳۹۸) و تست (ابتدای آذرماه ۱۳۹۸ تا انتهای اسفند ۱۳۹۸) طبقه‌بندی گردید. آماده‌سازی و پیش‌پردازش داده‌ها در نرم‌افزار اکسل و ارزیابی مانایی داده‌ها در نرم‌افزار ایویوز انجام پذیرفت. کدنویسی الگوریتم‌های کلونی مصنوعی زنبورعسل و رقابت استعماری و پیاده‌سازی مدل‌ها در نرم‌افزار متلب انجام گرفت. آزمون زوجی ویلکاکسون به منظور مقایسه مدل میانگین-ارزش در معرض ریسک شرطی با میانگین-واریانس در نرم‌افزار SPSS و پس‌آزمایی در نرم‌افزار R انجام شد.

آزمون مانایی داده‌ها

وجود رگرسیون کاذب همواره باعث استنباط غلط از ارتباط و وابستگی بین داده‌ها می‌شود که در نتیجه آن عدم سازگاری ضرایب برآورد شده را به همراه دارد. برای حصول اطمینان از عدم وجود رگرسیون کاذب و عدم تورش و بروز چنین مشکلاتی مانایی بازده دارایی‌های موجود در سبد بررسی شده است. رایج‌ترین آزمون ارزیابی مانایی، آزمون دیکی-فولر است. آزمون فیلیپس-پرون یکی دیگر از آزمون‌های ارزیابی مانایی است و مزیت آن نسبت به آزمون دیکی-فولر در نظر داشتن پدیده شکست ساختاری است. از طرفی با توجه به این که ممکن است در بازه زمانی۷ ساله مورد بررسی اتفاقات گوناگونی از جمله تغییر در قوانین و مقررات حاکم بر بازار و شرایط بازار پایه که باعث ایجاد پدیده شکست ساختاری می‌شود رخ داده باشد، در این پژوهش به منظور حصول اطمینان از مانایی داده‌ها و عدم وجود شکست ساختاری در بازه زمانی مورد بررسی از دو آزمون دیکی-فولر و فیلیپس-پرون استفاده می‌شود. نتایج حاصل در جدول ۱ حاکی از این است که بازده متغیرهای مورد استفاده در این تحقیق مانا بوده و به آزمون هم‌انباشتگی نیازی نیست. از سویی نتایج آزمون فیلیپس-پرون مبین عدم‌وجود پدیده شکست ساختاری است.

جدول۱ : آزمون‌های مانایی دیکی-فولر و فیلیپس-پرون

بازده متغیر	نام آزمون	آماره	آماره در سطح ۰/۰۱	آماره درسطح ۰/۰۵	آماره در سطح ۰/۱۰	احتمال	مانایی
دلار	دیکی-فولر	-۳۴/۷۷۶۶۲	-۳/۴۳۴۱۶۹	-۲/۸۶۳۱۱۴	-۲/۵۶۷۶۵۶	۰/۰۰۰۰	I(0)
	فیلیپس-پرون	-۵۱/۷۸۶۰۵	-۳/۴۳۴۱۶۷	-۲/۸۶۳۱۱۳	-۲/۵۶۷۶۵۵	۰/۰۰۰۱	I(0)
سکه امامی	دیکی-فولر	-۳۱/۴۰۷۵۹	-۳/۴۳۴۱۶۹	-۲/۸۶۳۱۱۴	-۲/۵۶۷۶۵۶	۰/۰۰۰۰	I(0)
	فیلیپس-پرون	-۴۱/۵۳۳۴۸	-۳/۴۳۴۱۶۷	-۲/۸۶۳۱۱۳	-۲/۵۶۷۶۵۵	۰/۰۰۰۰	I(0)
شاخص فلزات اساسی	دیکی-فولر	-۱۸/۹۸۹۵۶	-۳/۴۳۴۱۷۲	-۲/۸۶۳۱۱۵	-۲/۵۶۷۶۵۶	۰/۰۰۰۰	I(0)
	فیلیپس-پرون	-۳۱/۰۹۸۳۹	-۳/۴۳۴۱۶۷	-۲/۸۶۳۱۱۳	-۲/۵۶۷۶۵۵	۰/۰۰۰۰	I(0)
شاخص فرآورده‌های نفتی	دیکی-فولر	-۷/۷۰۷۵۰۴	-۳/۴۳۴۲۱۴	-۲/۸۶۳۱۳۴	-۲/۵۶۷۶۶۶	۰/۰۰۰۰	I(0)
	فیلیپس-پرون	-۴۴/۹۵۹۷۶	-۳/۴۳۴۱۶۷	-۲/۸۶۳۱۱۳	-۲/۵۶۷۶۵۵	۰/۰۰۰۱	I(0)
شاخص کانه فلزی	دیکی-فولر	-۲۹/۸۶۱۵۸	-۳/۴۳۴۱۶۷	-۲/۸۶۳۱۱۳	-۲/۵۶۷۶۵۵	۰/۰۰۰۰	I(0)
	فیلیپس-پرون	-۳۱/۱۹۷۷۲	-۳/۴۳۴۱۶۷	-۲/۸۶۳۱۱۳	-۲/۵۶۷۶۵۵	۰/۰۰۰۰	I(0)
شاخص زراعت	دیکی-فولر	-۲۹/۴۴۱۹۵	-۳/۴۳۴۱۶۷	-۲/۸۶۳۱۱۳	-۲/۵۶۷۶۵۵	۰/۰۰۰۰	I(0)
	فیلیپس-پرون	-۳۰/۰۵۱۶۲	-۳/۴۳۴۱۶۷	-۲/۸۶۳۱۱۳	-۲/۵۶۷۶۵۵	۰/۰۰۰۰	I(0)
شاخص‌محصولات چوبی	دیکی-فولر	-۲۸/۶۹۷۲۳	-۳/۴۳۴۱۶۷	-۲/۸۶۳۱۱۳	-۲/۵۶۷۶۵۵	۰/۰۰۰۰	I(0)
	فیلیپس-پرون	-۲۹/۳۷۱۶۰	-۳/۴۳۴۱۶۷	-۲/۸۶۳۱۱۳	-۲/۵۶۷۶۵۵	۰/۰۰۰۰	I(0)
شاخص ابزارپزشکی	دیکی-فولر	-۳۷/۶۱۶۱۱	-۳/۴۳۴۱۶۷	-۲/۸۶۳۱۱۳	-۲/۵۶۷۶۵۵	۰/۰۰۰۰	I(0)
	فیلیپس-پرون	-۳۷/۸۲۵۹۷	-۳/۴۳۴۱۶۷	-۲/۸۶۳۱۱۳	-۲/۵۶۷۶۵۵	۰/۰۰۰۰	I(0)
شاخص کاشی و سرامیک	دیکی-فولر	-۱۷/۱۷۴۰۵	-۳/۴۳۴۱۷۲	-۲/۸۶۳۱۱۵	-۲/۵۶۷۶۵۶	۰/۰۰۰۰	I(0)
	فیلیپس-پرون	-۲۷/۸۵۹۰۲	-۳/۴۳۴۱۶۷	-۲/۸۶۳۱۱۳	-۲/۵۶۷۶۵۵	۰/۰۰۰۰	I(0)
شاخص دارویی	دیکی-فولر	-۱۷/۰۲۶۷۸	-۳/۴۳۴۱۷۲	-۲/۸۶۳۱۱۵	-۲/۵۶۷۶۵۶	۰/۰۰۰۰	I(0)
	فیلیپس-پرون	-۲۲/۷۰۹۱۶	-۳/۴۳۴۱۶۷	-۲/۸۶۳۱۱۳	-۲/۵۶۷۶۵۵	۰/۰۰۰۰	I(0)
شاخص خودرو	دیکی-فولر	-۱۷/۰۲۷۴۱	-۳/۴۳۴۱۷۲	-۲/۸۶۳۱۱۵	-۲/۵۶۷۶۵۶	۰/۰۰۰۰	I(0)
	فیلیپس-پرون	-۳۱/۲۵۴۷۰	-۳/۴۳۴۱۶۷	-۲/۸۶۳۱۱۳	-۲/۵۶۷۶۵۵	۰/۰۰۰۰	I(0)
شاخص بانک‌ها	دیکی-فولر	-۱۷/۶۹۶۸۸	-۳/۴۳۴۱۷۲	-۲/۸۶۳۱۱۵	-۲/۵۶۷۶۵۶	۰/۰۰۰۰	I(0)
	فیلیپس-پرون	-۳۰/۰۷۰۶۷	-۳/۴۳۴۱۶۷	-۲/۸۶۳۱۱۳	-۲/۵۶۷۶۵۵	۰/۰۰۰۰	I(0)
شاخص حمل و نقل	دیکی-فولر	-۱۷/۳۳۹۹۰	-۳/۴۳۴۱۷۲	-۲/۸۶۳۱۱۵	-۲/۵۶۷۶۵۶	۰/۰۰۰۰	I(0)
	فیلیپس-پرون	-۲۸/۸۰۵۰۳	-۳/۴۳۴۱۶۷	-۲/۸۶۳۱۱۳	-۲/۵۶۷۶۵۵	۰/۰۰۰۰	I(0)

منبع: یافته‌های پژوهش

تنظیم پارامترها

ابتدا لازم است مقادیر مناسب پارامترهای دو الگوریتم کلونی مصنوعی زنبورعسل و رقابت استعماری مشخص گردد. تنظیم پارامترها با توجه به ادبیات تحقیق و روش سعی و خطا در جدول ۲ گزارش شد.

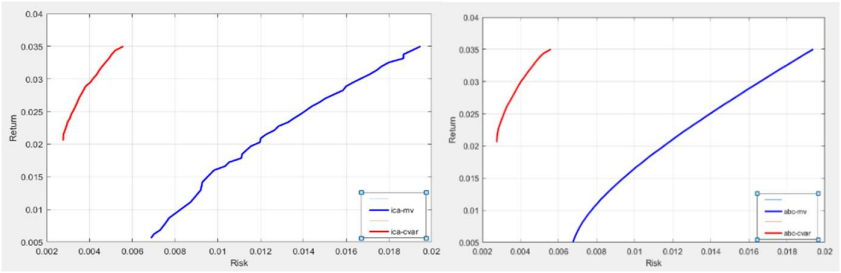
جدول ۲: تنظیم پارامترهای الگوریتم های فراابتکاری

الگوریتم کلونی مصنوعی زنبورعسل(ABC)		الگوریتم رقابت استعماری(ICA)	
اندازه جمعیت (nPop)	۵۰	اندازه جمعیت(nPop)	۵۰
حداکثر تکرار (MaxIt)	۱۰۰۰	حداکثر تکرار(MaxIt)	۱۰۰۰
زنبورناظر(nOnlooker)	۲۵	تعداد امپراطوری(nEmp)	۵
زنبورهای کارگر	۲۵	ضریب تشبیه(β)	۰/۹
حد متروکه شدن منبع غذایی(L)	round(۰.۵*۱۳*nPop)	ضریب هزینه میانگین کلونی‌ها(ξ)	۰/۱
حد بالای ضریب شتابدهی (a)	۱	ضریب فشار انتخاب(α)	۱
		احتمال وقوع انقلاب(pRevolation)	۰/۱
		شدت وقوع انقلاب(μ)	۰/۰۵

منبع: یافته‌های پژوهش

بهینه‌سازی سبد چند نوع دارایی (آزمون درون نمونه)

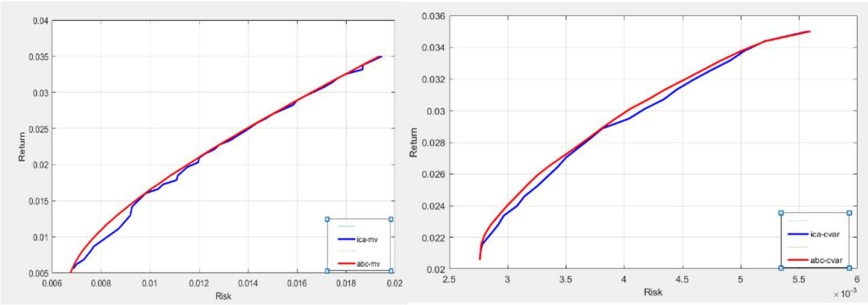
با رسم مرز کارا نتیجه حاصل از بهینه‌سازی دو مدل میانگین-ارزش در معرض ریسک شرطی و میانگین-واریانس با استفاده از الگوریتم کلونی مصنوعی زنبورعسل و رقابت استعماری مقایسه شد. شکل ۱ نشان می‌دهد که مرز کارای مدل میانگین-ارزش در معرض ریسک شرطی با قرارگرفتن در ناحیه‌ای با ریسک کمتر و بازده بالاتر در هر دو الگوریتم فراابتکاری برتر از مدل میانگین-واریانس است.



شکل ۱: مرزکارای مدل میانگین-واریانس و میانگین-CVaR با الگوریتم ABC (راست) و ICA (چپ)

منبع:یافته‌های پژوهش

طبق شکل ۲ مرز کارای حاصل از الگوریتم کلونی مصنوعی زنبورعسل براساس هر دو سنجه ارزش در معرض ریسک شرطی و واریانس در سمت چپ مرزکارای الگوریتم رقابت استعماری قرار گرفته است که نشان از برتری نسبی الگوریتم کلونی مصنوعی زنبورعسل نسبت به رقابت استعماری دارد. بنابراین در پاسخ به سوال۱ پژوهش می‌توان بیان نمود که در بهینه‌سازی سبد چند نوع دارایی، الگوریتم کلونی مصنوعی زنبور عسل در مقایسه با الگوریتم رقابت استعماری دارای برتری نسبی است.



شکل ۲ : مرز کارای الگوریتم ABC و ICA برای مدل میانگین-CVaR (راست) و میانگین-واریانس(چپ)

منبع:یافته‌های پژوهش

خلاصه نتایج حاصل از ۵۰ بار اجرای الگوریتم‌های کلونی مصنوعی زنبور عسل و رقابت استعماری برای بهینه‌سازی سبد چند نوع دارایی در جداول ۳ و ۴ ارائه شده است. در این جداول کمترین، بیشترین و میانگین وزن تخصیص داده شده به هر دارایی و معیارهای ارزیابی عملکرد مدل‌ها گزارش گردیده است.

جدول۳ : نتایج ارزیابی عملکرد الگوریتم کلونی مصنوعی زنبورعسل در بهینه‌سازی مدل‌ها

مدل‌ها / عناوین	میانگین- ارزش در معرض ریسک شرطی			میانگین- واریانس		
	کمترین	بیشترین	میانگین	کمترین	بیشترین	میانگین
دلار	۰	۰۴۵۸۵/۰	۰۳۳۰۳/۰	۰	۰۶۸۹۶/۰	۰۳۷۸۷/۰
سکه امامی	۰	۱۰۵۳۵/۰	۰۶۱۳۳/۰	۰	۱۲۱۰۳/۰	۰۶۶۴۵/۰
فلزات اساسی	۰	۱۲۸۲۲/۰	۰۷۷۷۴/۰	۰	۲۴۴۷۲/۰	۱۶۱۱۲/۰
فرآورده های نفتی	۰۰۲۰۵/۰	۰۳۴۹۰/۰	۰۰۹۵۰/۰	۰	۰۰۲۰۳/۰	۰۰۰۹۸/۰
شاخص کانه فلزی	۰	۰۸۳۷۶/۰	۰۶۰۸۷/۰	۰	۱۸۴۵۶/۰	۰۸۹۲۲/۰
شاخص زراعت	۰	۰۰۱۰۴/۰	۰۰۰۱۲/۰	۰	۰۰۷۰۶/۰	۰۰۰۷۰/۰
محصولات چوبی	۱۶۵۱۰/۰	۲۸۱۴۶/۰	۱۹۷۱۵/۰	۰۲۶۳۴/۰	۲۵۴۰۲/۰	۱۴۴۳۵/۰
ابزارپزشکی	۴۲۲۷۱/۰	۷۳۰۰۴/۰	۴۹۱۰۱/۰	۱۲۷۵۷/۰	۷۶۶۷۲/۰	۴۲۷۹۳/۰
کاشی و سرامیک	۰	۰۰۱۲۴/۰	۰۰۰۱۰/۰	۰	۰۶۴۷۹/۰	۰۱۱۷۳/۰
دارویی	۰	۰۰۱۱۸/۰	۰۰۰۰۹/۰	۰	۱۴۳۱۳/۰	۰۳۱۷۲/۰
خودرو	۰	۰۸۱۶۳/۰	۰۵۸۲۷/۰	۰	۰۴۸۹۴/۰	۰۱۹۳۱/۰
بانک‌ها	۰	۰۰۱۱۹/۰	۰۰۰۰۷/۰	۰	۰۴۱۶۲/۰	۰۰۳۵۵/۰
حمل و نقل	۰	۰۱۹۲۴/۰	۰۱۰۷۳/۰	۰	۰۲۸۱۹/۰	۰۰۵۰۸/۰
بازده	۰۲۰۵۷/۰	۰۳۵۰۱/۰	۰۲۴۱۳/۰	۰۰۵۰/۰	۰۳۵۰۰/۰	۰۲۰۰۱/۰
ریسک	۰۰۲۷۶/۰	۰۰۵۶۰/۰	۰۰۳۲۵/۰	۰۰۶۷۶/۰	۰۱۹۳۸/۰	۰۱۲۰۴/۰
نسبت شارپ	۱/۳۲۴۵۹	۱/۷۰۹۹۱	۶۱۴۴۹/۱	۰/۰۵۸۹	۱/۷۷۹۴	۱/۱۳۵۰۲
نسبت شارپ شرطی	۱۵۵۴۲/۶	۸۲۵۲۹/۷	۲۹۴۶۶/۷	۴۴۵۶۴/۰	۹۴۹۳۷/۶	۷۱۰۸۸/۴
نسبت بازده به ریسک	۲۵۳۳/۶	۰۰۸۱۷/۸	۴۷۰۵۱/۷	۰/۰۳۹۹۷	۱/۸۰۹۸	۱/۵۸۵۶۵

منبع:یافته‌های پژوهش

جدول ۳ نشان می‌دهد که در الگوریتم کلونی مصنوعی زنبورعسل میانگین-ارزش در معرض ریسک شرطی نسبت به میانگین-واریانس از نظر معیارهای نسبت شارپ شرطی، نسبت شارپ و نسبت بازده به ریسک دارای عملکرد بهتری می‌باشد. الگوریتم کلونی مصنوعی زنبورعسل در بهینه‌سازی مدل میانگین-ارزش در معرض ریسک شرطی با میانگین شارپ شرطی۷/۲۹۴۶۶، میانگین شارپ ۱/۶۱۴۴۹ و نسبت بازده به ریسک ۷/۴۷ نسبت به مدل میانگین-واریانس با میانگین شارپ شرطی۴/۷۱۰۸۸، میانگین شارپ ۱/۵۳۵۰۲ و نسبت بازده به ریسک ۱/۵۹ برتری دارد. همچنین میانگین-ارزش در معرض ریسک شرطی توانسته به بازده های بالاتری از سبد چند نوع دارایی، متوسط بازده روزانه ٪۲/۴ در مقایسه با ۲٪، دست یابد. از جدول ۴ نیز می‌توان دریافت که الگوریتم رقابت استعماری در مدل با سنجه ارزش

در معرض ریسک شرطی نسبت به واریانس در تمام معیارهای ارزیابی عملکرد بهتری از خود نشان می‌دهد. مدل میانگین-ارزش در معرض ریسک شرطی به طور متوسط نسبت شارپ شرطی ۷/۰۶ را کسب کرده است، درحالی‌که مدل میانگین-واریانس به طور متوسط به نسبت ۴/۲۹ رسیده است.

جدول۴ : نتایج ارزیابی عملکرد الگوریتم رقابت استعماری در بهینه‌سازی مدل‌ها

مدل‌ها / عناوین	میانگین- ارزش در معرض ریسک شرطی			میانگین- واریانس		
	کمترین	بیشترین	میانگین	کمترین	بیشترین	میانگین
دلار	۰/۰۰۰۰۱	۰/۰۶۳۹۴	۰/۰۳۴۵۵	۰/۰۰۰۰۸	۰/۱۳۳۶۷	۰/۰۵۱۰۳
سکه امامی	۰/۰۰۰۲۲	۰/۱۴۳۳۱	۰/۰۵۱۸۲	۰/۰۰۰۰۵	۰/۱۹۶۸۸	۰/۰۶۱۷۱
فلزات اساسی	۰۰۰۰۱/۰	۱۴۵۲۷/۰	۰۸۵۴۸/۰	۰۰۰۰۲/۰	۲۴۵۰۵/۰	۰/۱۱۹۶۳
فرآورده های نفتی	۰۰۱۹۵/۰	۰۹۱/۰	۰۱۳۷۹/۰	۰۰۰۱۶/۰	۰۷۵۶۶/۰	۰۰۴۰۶/۰
شاخص کانه فلزی	۰۰۰۰۱/۰	۰۸۸۳۵/۰	۰۶۱۳۷/۰	۰۰۰۱۹/۰	۱۸۹۱۹/۰	۰۷۳۴۶/۰
شاخص زراعت	۰	۰۰۰۰۳/۰	۰	۰	۰۶۰۰۲/۰	۰۰۴۸۶/۰
محصولات چوبی	۱۵۹۷۴/۰	۳۰۳۰۰/۰	۲۰۱۹۱/۰	۰۲۸۰۹/۰	۳۳۹۱۳/۰	۱۷۰۷۶/۰
ابزارپزشکی	۳۱۲۲۱/۰	۷۲۸۶۴/۰	۴۸۳۳۰/۰	۱۲۳۱۳/۰	۷۸۷۶۸/۰	۴۱۳۹۴/۰
کاشی و سرامیک	۰	۰۰۰۰۸/۰	۰	۰	۰۸۴۱۳/۰	۰۱۹۳۷/۰
دارویی	۰	۰۲۳۹۶/۰	۰۰۰۵۱/۰	۰	۱۴۷۶۳/۰	۰۳۳۷۳/۰
خودرو	۰۰۰۰۲/۰	۰۹۱۷۸/۰	۰۵۵۴/۰	۰	۱۰۹۸۱/۰	۰۱۹۵۵/۰
بانکها	۰	۰	۰	۰	۰۸۹۸۳/۰	۰۱۶۵۶/۰
حمل و نقل	۰	۰۳۱۰۶/۰	۰۱۱۸۷/۰	۰	۱۳۷۶۵/۰	۰۱۱۳۲/۰
بازده	۰۱۹۶۹/۰	۰۳۵۰۰/۰	۰۲۴۱۱/۰	۰۰۵۰۰/۰	۰۳۵۰۰/۰	۰۲۰۰۰/۰
ریسک	۰۰۲۷۶/۰	۰۰۷۰۹/۰	۰۰۳۴۲/۰	۰۰۶۸۷/۰	۰۴۱۰۸/۰	۰۱۳۲۷/۰
نسبت شارپ	۰/۴۰۶۶۷	۱/۷۱۲۴۶	۱/۵۴۰۴۶	۰/۴۷۲۱۷	۱/۷۷۸۴۴	۱/۴۴۳۸
نسبت شارپ شرطی	۶۹۹۰۴/۲	۶۹۰۲۷/۷	۰۵۸۷۶/۷	۴۱۶۹۴/۰	۰۵۶۰۰/۷	۲۸۸۰۶/۴
نسبت بازده به ریسک	۲/۷۷۶۲۹	۷/۸۷۴۹۳	۷/۷۲۸۸۹	۰/۰۰۱۷۸	۱/۸۰۸۸۵	۱/۴۹۰۴۴

منبع:یافته‌های پژوهش

بنابراین با بررسی نتایج جدول ۳ و ۴ می‌توان بیان کرد که مدل میانگین-ارزش در معرض ریسک شرطی نسبت به مدل میانگین-واریانس، دارای میانگین بیشتری در نسبت بازده به ریسک، نسبت شارپ و نسبت شارپ شرطی می‌باشد که به منظور بررسی معناداری این برتری از آزمون زوجی ویلکاکسون در بخش بعدی استفاده می‌گردد.

جدول ۵ عملکرد الگوریتم های کلونی مصنوعی زنبورعسل و رقابت استعماری برای بهینه‌سازی مدل‌ها در دوره آموزش را مقایسه می‌کند. از بررسی مقادیر جدول نتیجه می‌شود الگوریتم کلونی زنبورعسل در بهینه‌سازی سبد چند نوع دارایی از الگوریتم رقابت استعماری برتری دارد. الگوریتم رقابت استعماری به‌طور متوسط به نسبت شارپ شرطی ۷/۰۵ دست یافته است و کلونی مصنوعی زنبور عسل توانسته متوسط این نسبت را به ۷/۲۹ برساند. همچنین عملکرد بهتر سنجه ارزش در معرض ریسک شرطی در بهینه‌سازی سبد در این جدول مشهود است. با توجه به نتایج پیاده‌سازی و اجرای مدل‌ها در دوره آموزش، مدل‌سازی مسئله انتخاب سبد چند نوع دارایی با معیار ارزش در معرض ریسک شرطی برتری خود را نسبت به معیار واریانس نشان داد و همچنین در مقایسه دو الگوریتم فراابتکاری، الگوریتم کلونی مصنوعی زنبورعسل کاراتر از الگوریتم رقابت استعماری ارزیابی شد.

جدول۵ : مقایسه دو الگوریتم بر اساس معیار ارزش در معرض ریسک شرطی و واریانس

مدل	معیار ارزیابی	کلونی مصنوعی زنبور عسل			رقابت استعماری		
		کمترین	بیشترین	میانگین	کمترین	بیشترین	میانگین
میانگین-ارزش در معرض ریسک شرطی	ریسک	۰/۰۰۲۷۶	۰/۰۰۵۶	۰/۰۰۳۲۵	۰/۰۰۲۷۶	۰/۰۰۷۰۹	۰/۰۰۳۴۲
	بازده	۰/۰۲۰۵۷	۰/۰۳۵۰۱	۰/۰۲۴۱۳	۰/۰۱۹۶۹	۰/۰۳۵۰۰	۰/۰۲۴۱۱
	نسبت شارپ	۱/۳۲۴۵۹	۱/۷۰۹۹۱	۱/۶۱۴۴۹	۰/۴۰۶۶۷	۱/۷۱۲۴۶	۱/۵۴۰۴۶
	نسبت شارپ شرطی	۶/۱۵۵۴۲	۷/۸۲۵۲۹	۷/۲۹۴۶۶	۲/۶۹۹۰۴	۷/۶۹۰۲۷	۷/۰۵۸۷۶
	نسبت بازده به ریسک	۶/۲۵۳۳	۸/۰۰۸۱۷	۷/۴۷۰۵۱	۲/۷۷۶۲۹	۷/۸۷۴۹۳	۷/۲۲۸۸۹
میانگین-واریانس	ریسک	۰/۰۰۶۷۶	۰/۰۱۹۳۸	۰/۰۱۲۰۴	۰/۰۰۶۸۷	۰/۰۴۱۰۸	۰/۰۱۳۲۷
	بازده	۰/۰۰۵۰۰	۰/۰۳۵۰۰	۰/۰۲۰۰۱	۰/۰۰۵	۰/۰۳۵۰۰	۰/۰۲۰۰۰
	نسبت شارپ	۰/۶۵۸۹۰	۱/۷۷۹۴۰	۱/۵۳۵۰۲	۰/۴۷۲۱۷	۱/۷۷۸۴۴	۱/۴۴۳۸۰
	نسبت شارپ شرطی	۰/۴۴۵۶۴	۶/۹۴۹۳۷	۴/۷۱۰۸۸	۰/۴۱۶۹۴	۷/۰۵۶۰۰	۴/۲۸۸۰۶
	نسبت بازده به ریسک	۰/۷۳۹۹۷	۱/۸۰۹۸۰	۱/۵۸۵۶۲	۰/۵۰۱۷۸	۱/۸۰۸۸۵	۱/۴۹۰۴۴

منبع:یافته‌های پژوهش

آزمون زوجی ویلکاکسون

آزمون زوجی ویلکاکسون آزمون مقایسه زوجی است که در آن فرض نرمال بودن توزیع داده‌ها وجود ندارد. جهت مقایسه عملکرد دو مدل میانگین-واریانس و میانگین-ارزش در معرض ریسک شرطی از این آزمون بهره گرفته شده است. بر اساس جدول ۶ بین بازده، ریسک، نسبت بازده به ریسک و نسبت شارپ شرطی دو مدل میانگین-واریانس و میانگین-ارزش در معرض ریسک شرطی اختلاف معناداری وجود

دارد یعنی مدل میانگین-ارزش در معرض ریسک شرطی به بازده، نسبت بازده به ریسک، نسبت شارپ شرطی بیشتر و ریسک کمتر دست یافته است اما نسبت شارپ حاصل از این دو مدل با یکدیگر تفاوت معناداری ندارد. بنابراین می‌توان بیان نمود که مدل میانگین-ارزش در معرض ریسک شرطی نسبت به مدل میانگین-واریانس بر اساس بازده، نسبت بازده به ریسک و نسبت شارپ شرطی برتری معنادار دارد ولی این برتری در نسبت شارپ معنادار نیست که پاسخ مناسبی برای سوال۲ پژوهش می‌باشد.

جدول۶ : مقایسه میانگین-واریانس و ارزش در معرض ریسک شرطی براساس آزمون ویلکاکسون

متغیر		تعداد	میانگین رتبه‌ها	مجموع رتبه‌ها	Zآماره	مقدار احتمال دو طرفه
بازده	رتبه‌های منفی	a۱۱	۱۳/۴۵	۱۴۸/۰۰	b-۴/۷۲۵	۰/۰۰۰
	رتبه‌های مثبت	b۳۹	۲۸/۹۰	۱۱۲۷/۰۰		
	هم‌رتبه(رتبه صفر)	c۰				
	جمع کل	۵۰				
ریسک	رتبه‌های منفی	a۵۰	۰۲۵/۵	۱۲۷۵/۰۰	b-۶/۱۵۴	۰/۰۰۰
	رتبه‌های مثبت	۰b	۰/۰۰	۰/۰۰		
	هم‌رتبه(رتبه صفر)	۰c				
	جمع کل	۵۰				
نسبت بازده به ریسک	رتبه‌های منفی	a۰	۰/۰۰	۰/۰۰	b-۶/۱۵۴	۰/۰۰۰
	رتبه‌های مثبت	۵۰b	۲۵/۵۰	۱۲۷۵/۰۰		
	هم‌رتبه(رتبه صفر)	۰c				
	جمع کل	۵۰				
نسبت شارپ	رتبه‌های منفی	a۲۵	۲۲/۳۲	۵۵۸/۰۰	b-۰/۷۶۷	۰/۴۴۳
	رتبه‌های مثبت	۲۵b	۲۸/۶۸	۷۱۷/۰۰		
	هم‌رتبه(رتبه صفر)	۰c				
	جمع کل	۵۰				
نسبت شارپ شرطی	رتبه‌های منفی	a۰	۰/۰۰	۰/۰۰	-۶/۱۵۴b	۰/۰۰۰
	رتبه‌های مثبت	۵۰b	۲۵/۵۰	۱۲۷۵/۰۰		
	هم‌رتبه(رتبه صفر)	۰c				
	جمع کل	۵۰				

منبع: یافته‌های پژوهش

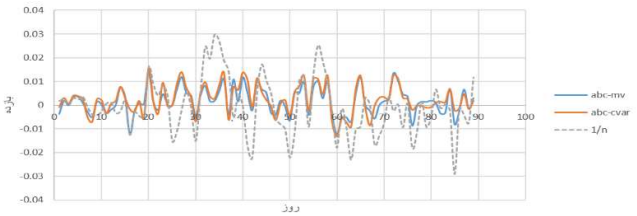
a.Cvar < Variance

b.Cvar > Variance

c.Cvar = Variance

بهینه‌سازی سبد چند نوع دارایی (آزمون برون نمونه)

به‌منظور اطمینان از عملکرد بهتر سنجه ارزش در معرض ریسک شرطی و الگوریتم کلونی مصنوعی زنبور عسل در بهینه‌سازی سبد چند نوع دارایی به آزمون عملکرد مدل‌ها در بازه زمانی تست پرداخته شده است. شکل ۳ بازده روزانه پرتفوی پیشنهادی الگوریتم کلونی مصنوعی زنبور عسل با مدل‌های میانگین- واریانس و میانگین-ارزش در معرض ریسک شرطی را با پرتفوی با وزن یکسان در دوره تست مقایسه می‌کند. بر اساس این نمودار بازده پرتفوی پیشنهادی مدل میانگین-ارزش در معرض ریسک شرطی همواره بیش از مدل میانگین-واریانس است. بنابراین مدل جدید ضمن سنجش بهتر ریسک و کاهش آن، می‌تواند در کسب بازده و افزایش ثروت سرمایه‌گذاران موثر باشد.



شکل۳: مقایسه میانگین بازده مدل‌های توسعه یافته با استراتژی 1/n در دوره تست

منبع: یافته‌های پژوهش

نتایج حاصل از ترکیب پرتفوی پیشنهادی مدل‌ها در ۵۰ بار اجرای الگوریتم در جدول ۷ ارائه شده است. با مقایسه نتایج این جدول می‌توان دریافت که در بازه زمانی تست، بر اساس نسبت‌های شارپ شرطی و شارپ، مدل با معیار ارزش در معرض ریسک شرطی برتری دارد. نتایج حاکی از آن است که سنجه ارزش در معرض ریسک شرطی دارای نوسان کمتر و بازدهی بیشتر بوده و بهتر است سرمایه‌گذاران در بهینه‌سازی سبد چند نوع دارایی از مدل میانگین-ارزش در معرض ریسک شرطی استفاده کنند.

جدول۷ : ارزیابی پرتفوی پیشنهادی الگوریتم کلونی مصنوعی زنبور عسل در آزمون برون نمونه

مدل‌ها / معیار ارزیابی	میانگین- ارزش در معرض ریسک شرطی			میانگین- واریانس		
	کمترین	بیشترین	میانگین	کمترین	بیشترین	میانگین
ریسک	۰/۰۱۱۶۲	۰/۰۱۵۲۶	۰/۰۱۲۶۱	۰/۰۰۵۶۲	۰/۰۰۶۹۷	۰/۰۰۶۲۳
بازده	۰/۰۰۱۶۶	۰/۰۰۲۹۰	۰/۰۰۲۰۴	۰/۰۰۰۱۹	۰/۰۰۲۷۹	۰/۰۰۱۶۸
نسبت شارپ	۰/۱۵۲۲۶	۰/۳۰۰۲۳	۰/۲۱۶۲۴	-۰/۰۵۲۱	۰/۳۶۴۷۰	۰/۱۸۲۵۸
نسبت شارپ شرطی	۰/۰۷۵۲۷	۰/۱۶۹۵۹	۰/۱۱۸۴۱	-۰/۰۲۵۵	۰/۲۵۰۹۶	۰/۱۰۹۳
نسبت بازده به ریسک	۰/۱۱۱۱۸	۰/۲۱۰۴۲	۰/۱۶۲۲۲	۰/۰۲۸۲۶	۰/۴۵۳۸۸	۰/۲۷۰۷۳

منبع:یافته‌های پژوهش

پس‌آزمایی ارزش در معرض ریسک و ارزش در معرض ریسک شرطی

به‌منظور اطمینان از صحت و کارکرد مناسب رویکرد محاسبه ارزش در معرض ریسک در ارزیابی ریسک و بهینه‌سازی سبد انواع دارایی آزمون پس‌آزمایی کوپیک بررسی شده است. کوپیک یک آزمون دوطرفه نسبتا قوی برای ارزیابی عملکرد روش محاسبه ارزش در معرض ریسک پیشنهاد داد [۲۷]. آماره کوپیک با رابطه (۱۰) محاسبه می‌شود و دارای توزیع کای‌دو با یک درجه آزادی است که در آن M تعداد شکست مدل (زیان بیش از ارزش در معرض ریسک) در دوره پس‌آزمایی و N تعداد مشاهدات است.

$$LR(POF) = -2\ln(1-\alpha)^{N-M}\alpha^{M} + 2\ln(1-M/N)^{N-M}(M/N)^{M} \qquad (۱۰)$$

نتایج حاصل از پس‌آزمایی شبیه‌سازی تاریخی ساده روزانه در سطح اطمینان ۹۵٪ با آزمون کوپیک در نرم‌افزار R در جدول ۸ ارائه شده است. بر اساس نتایج این جدول فرض صفر در سطوح ۹۹٪ و ۹۵٪ رد نمی‌شود و بنابراین کارایی روش شبیه‌سازی تاریخی برای محاسبه ارزش در معرض ریسک پرتفوی متشکل از انواع دارایی مورد نظر تایید می‌شود. این جدول به عنوان نمونه نتایج پس‌آزمایی برای بهترین پرتفوی پیشنهادی مدل میانگین-ارزش در معرض ریسک شرطی با الگوریتم کلونی زنبور عسل را گزارش می‌دهد و برای ترکیب‌های دیگر پرتفوی نیز نتیجه مشابه به‌دست‌آمد.

جدول ۸ : پس‌آزمایی ارزش در معرض ریسک پرتفوی چند نوع دارایی به روش شبیه‌سازی تاریخی

آماره آزمون (LRRatio POF)	۰/۱۰۳	
پی-مقدار (P-Value)	۰/۷۴۸۳	
سطح آزمون	۹۵٪	۹۹٪
مقدار بحرانی آزمون	۳/۸۴۱۵	۶/۶۳۴۹
نتیجه آزمون کوپیک	پذیرش	پذیرش

منبع: یافته‌های پژوهش

برای پس‌آزمایی ارزش در معرض ریسک شرطی نیز از آزمون مک‌نیل و فری استفاده شده است. این آزمون در سال ۲۰۰۰ توسط مک‌نیل و فری [۳۱] پیشنهاد شد و از موفق‌ترین آزمون‌های پس‌آزمایی به شمار می‌رود [۱۱]. در این آزمون تفاوت بازده‌های کمتر از ارزش در معرض ریسک (r_{t+1}) و ارزش در معرض ریسک شرطی پیش‌بینی شده ($CVaR_{t+1}$) با انحراف استاندارد پیش‌بینی شده ($\hat{\sigma}_{t+1}$)، استاندارد می‌شوند و سری پس‌ماندهای افزایشی استاندارد شده (R_{t+1}) با رابطه (۱۱) محاسبه می‌شود که در این رابطه $\hat{\sigma}_{t+1}$ برای مدل‌های ناپارامتریک از انحراف استاندارد نمونه به دست می‌آید.

$$R_{t+1}=\begin{cases}\dfrac{r_{t+1}-CVaR_{t+1}}{\hat{\sigma}_{t+1}}, & if\ r_{t+1}<VaR_{t+1}\\ 0, & if\ r_{t+1}\geq VaR_{t+1}\end{cases} \quad (۱۱)$$

از آنجا که تخمین کمتر از حد ارزش در معرض ریسک شرطی خطرناک است، آزمون فرض یک‌طرفه (۱۲) با آماره t (رابطه۱۳) تست می‌شود.

$$\begin{cases}H_0: \bar{R}_{t+1}=0\\ H_1: \bar{R}_{t+1}>0\end{cases} \quad (۱۲)$$

$$t=\frac{\bar{R}_{t+1}}{\sigma_{\bar{R}_{t+1}}/\sqrt{N}} \quad (۱۳)$$

پی-مقدار آزمون مک‌نیل و فری در مدل مورد استفاده برای محاسبه ارزش در معرض ریسک شرطی چند نوع دارایی ۰/۴۹۹ با آماره ۰/۰۰۱۳- به دست آمد و مدل در سطوح ۹۵٪ و ۹۹٪ پذیرفته است.

با تکیه بر نتایج حاصل از آزمون‌های برون‌نمونه و پس‌آزمایی می‌توان در پاسخ به سوال ۳ پژوهش بیان کرد که مدل میانگین-ارزش در معرض ریسک شرطی پیشنهادی مدلی مناسب و کارا در حل مسائل بهینه‌سازی سبد چند نوع دارایی در بازار ایران می‌باشد.

نتیجه‌گیری و بحث

در این پژوهش به مدل‌سازی و بهینه‌سازی مسئله انتخاب سبد متشکل از انواع دارایی شامل سکه امامی، دلار آمریکا و شاخص‌های سهام حمل و نقل، بانک، خودرو، دارویی، کاشی و سرامیک، ابزار پزشکی، محصولات چوبی، زراعت، کانه فلزی، فرآورده‌های نفتی و فلزات اساسی پرداخته شد. انتخاب این دارایی‌ها با توجه به بازار ایران و به دلیل ویژگی‌های متمایز آن‌ها در افزایش بازده، متنوع‌سازی، پوشش ریسک و امنیت سرمایه‌گذاری صورت گرفته است. با توجه به خصوصیات معیارهای سنجش ریسک و عملکرد الگوریتم‌های فراابتکاری در ادبیات بهینه‌سازی سبد سرمایه، برای مدل‌سازی مسئله از معیار ارزش در معرض ریسک شرطی با رویکرد شبیه‌سازی تاریخی و برای حل آن از الگوریتم کلونی مصنوعی زنبور عسل استفاده شد. در این راستا داده‌های روزانه ارزش دارایی‌های فوق در بازه هفت ساله (۱۳۹۲ الی ۱۳۹۸) استخراج شد. نتایج نشان‌داد مدل میانگین-ارزش در معرض ریسک شرطی مرز کارای بهتری نسبت به مدل میانگین-واریانس ارائه می‌دهد و این مدل برای بهینه‌سازی سبد چند نوع دارایی در بازار ایران مناسب‌تر است. مرز کارای حاصل از بهینه‌سازی با الگوریتم کلونی مصنوعی زنبور عسل و رقابت استعماری، نشان از برتری الگوریتم کلونی مصنوعی زنبورعسل در حل مدل‌ها داشت. در ادامه نتایج ۵۰ بار اجرای مستقل مدل‌های میانگین-ارزش در معرض ریسک شرطی و میانگین-واریانس با الگوریتم

کلونی مصنوعی زنبور عسل نشان داد که استفاده از معیار ارزش در معرض ریسک شرطی برای سنجش ریسک، عملکرد پرتفوی را از لحاظ بازده، ریسک، نسبت شارپ، نسبت شارپ شرطی و نسبت بازده به ریسک بهبود می‌بخشد. همچنین در الگوریتم رقابت استعماری مدل میانگین-ارزش در معرض ریسک شرطی نسبت به مدل مارکویتز دارای برتری بود. نتایج مقایسه عملکرد الگوریتم‌های فراابتکاری موید این است که الگوریتم کلونی مصنوعی زنبور عسل با نسبت بازده به ریسک ۷/۴۷، نسبت شارپ ۱/۶۱۴۴ و نسبت شارپ شرطی ۷/۲۹۴۶ از الگوریتم رقابت استعماری با میانگین شارپ ۱/۵۴۰۴ و میانگین شارپ شرطی ۷/۰۵۸۷ در بهینه‌سازی سبد چند نوع دارایی عملکرد بهتری دارد. آزمون زوجی ویلکاکسون برای ارزیابی و مقایسه دو معیار ریسک واریانس و ارزش در معرض ریسک شرطی نشان از برتری معیار ارزش در معرض ریسک شرطی بر اساس ریسک، بازده، نسبت بازده به ریسک و نسبت شارپ شرطی داشت. به‌منظور ارزیابی دقیق‌تر عملکرد مدل‌ها در بهینه‌سازی سبد چند نوع دارایی، سبدهای پیشنهادی از ۵۰ بار اجرای هر یک از مدل‌ها در دوره تست ارزیابی شدند که نتایج حاکی از برتری مدل میانگین-ارزش در معرض ریسک شرطی بر اساس نسبت شارپ شرطی و نسبت شارپ بود. برای سنجش مدل محاسبه ارزش در معرض ریسک و ارزش در معرض ریسک شرطی به ترتیب از آزمون‌های پس‌آزمایی کوپیک و مک‌نیل و فری استفاده شد. بر اساس نتایج پس‌آزمایی، شبیه‌سازی تاریخی رویکردی مناسب و معتبر برای سنجش ریسک پرتفوی چند نوع دارایی است. به طورکلی از پیاده‌سازی مدل‌ها در بازار ایران می‌توان نتیجه گرفت که با استفاده از الگوریتم کلونی مصنوعی زنبورعسل مدل میانگین-ارزش در معرض ریسک شرطی می‌توان به ترکیب سبد چند نوع دارایی بهتری دست‌ی افت و به سرمایه‌گذاران پیشنهاد می‌شود در سرمایه‌گذاری‌های خود، از این مدل و الگوریتم استفاده نمایند. در راستای بهبود عملکرد مدل‌های بهینه‌سازی سبد چند نوع دارایی توصیه می‌شود، موارد زیر در پژوهش‌های آتی در نظر گرفته شود:

- افزودن سایر دسته‌های دارایی از جمله اوراق با درآمد ثابت به سبد دارایی برای بهبود سطح بازده و ریسک سرمایه‌گذاری
- افزودن محدودیت‌های واقعی بازارهای سرمایه و سرمایه‌گذاران به مدل
- ارزیابی مدل‌های پارامتریک و نیمه‌پارامتریک در محاسبه ریسک سبد چندنوع دارایی و توسعه مدل بهینه‌سازی سبد با رویکردهای جدید سنجش ریسک
- پیش‌بینی قیمت سهام عضو بازار بورس تهران با الگوریتم کلونی مصنوعی زنبورعسل
- استفاده از روش‌های هوش‌مصنوعی برای پیش‌بینی قیمت آتی دارایی‌ها و بهینه‌سازی سبد

منابع

۱) ابراهیمی سیدبابک، آقایی شیخ‌رضی مژگان، محبی نگین. برآورد ارزش در معرض ریسک و ریزش مورد انتظار پرتفوی با استفاده از نظریه امکان و الزام فازی. تحقیقات مالی. ۱۳۹۶. ۱۹(۲): ۲۱۶-۱۹۳.

۲) اسلامی‌بیدگلی غلامرضا، طیبی ثانی احسان. بهینه‌سازی سبدسرمایه‌گذاری بر اساس ارزش در معرض ریسک با استفاده از الگوریتم‌کلونی‌مورچگان. مهندسی‌مالی‌ومدیریت‌اوراق‌بهادار. ۱۳۹۳. ۱۸: ۱۸۴-۱۶۳.

۳) اقبال نیا محمد، دلیران سید مازیار. بهینه‌سازی سبد سهام به شیوه فازی و با استفاده از الگوریتم فراابتکاری جستجوی ناخودآگاه. دانش سرمایه‌گذاری. ۱۳۹۸. (۳۲)۸: ۲۷۰-۲۵۱.

۴) بیات علی، اسدی لیدا. بهینه سازی پرتفوی سهام: سودمندی الگوریتم پرندگان و مدل مارکویتز. مهندسی مالی و مدیریت اوراق بهادار. ۱۳۹۶. ۸(۳۲): ۸۵-۶۳.

۵) پاک مرام عسگر، بحری ثالث جمال، ولی زاده مصطفی. انتخاب و بهینه سازی سبد سهام با استفاده از الگوریتم ژنتیک، با بهره گیری از مدل میانگین-نیمه واریانس مارکویتز. مهندسی مالی و مدیریت اوراق بهادار. ۱۳۹۶. (۳۱)۸ ، ۴۲-۱۹.

۶) تهرانی رضا، فلاح‌تفتی سیما، آصفی سپهر. بهینه‌سازی‌سبدسهام به‌کمک‌الگوریتم‌فراابتکاری دسته‌های میگو با استفاده از معیارهای مختلف از ریسک در بورس اوراق بهادار تهران. تحقیقات مالی. ۱۳۹۷. (۲۰)۴: ۴۰۹-۴۲۶.

۷) جمشیدی عینی عصمت، خالوزاده حمید. بررسی روش‌های هوشمند در حل مسئله سبد سهام مقید در بازار سهام تهران. دانش مالی تحلیل اوراق بهادار. ۱۳۹۵. ۹(۳۱): ۹۶-۸۵.

۸) داودی سیدمحمدرضا، صدری ابوالفضل. مقایسه الگوریتم‌های فراابتکاری در ارائه مدل بهینه سبد سهام چنددوره‌ای‌براساس‌معیار ارزش در معرض‌ریسک. بورس‌اوراق‌بهادار.۱۳۹۷. (۴۱)۱۱: ۱۵۲-۱۲۱.

۹) رحمانی محمود، خلیلی عراقی مریم، نیکومرام هاشم. انتخاب سبد سهام با بکارگیری الگوریتم کلونی مصنوعی زنبور و مقایسه‌ی آن با الگوریتم های ژنتیک و مورچگان. دانش مالی تحلیل اوراق بهادار. ۱۳۹۹. (۴۵)۱۳: ۴۶-۳۱.

۱۰) رهنمای‌رودپشتی فریدون، ملائی مسعود. مدیریت‌ریسک‌سبد با استفاده از مدلهای تجدید نظر شده ارزش در معرض ریسک(VaR) . مهندسی مالی و مدیریت اوراق بهادار. ۱۳۹۰. ۳(۱۳): ۱۵۲-۱۲۳.

۱۱) سارنج علیرضا، نوراحمدی مرضیه. رتبه بندی آماری مدل‌های مختلف ارزش در معرض ریسک و ریزش مورد انتظار با استفاده از رویکرد مجموعه اطمینان مدل (MCS) برای صنعت بانکداری: با تاکید بر رویکرد ارزش فرین شرطی. مهندسی مالی و مدیریت اوراق بهادار. ۱۳۹۶. ۳۰، ۱۴۶-۱۳۱.

۱۲) سینا افسانه، فلاح شمس میرفیض. بهینه سازی سبد سرمایه گذاری با رویکرد نظریه ارزش فرین در بورس اوراق بهادار تهران. مهندسی مالی و مدیریت اوراق بهادار. ۱۳۹۸. (۴۰)۱۰: ۲۰۰-۱۸۴.

۱۳) سینایی حسنعلی، زمانی سینا، مهرابی علی. تصمیم گیری برای انتخاب سبد سهام؛ مقایسه‌ی الگوریتم‌های ژنتیک و زنبور عسل. پژوهشنامه مدیریت اجرایی. ۱۳۹۳. (۱۱)۶: ۱۰۲-۸۳.

۱۴) فلاح‌پور سعید، آصفی سپهر، فلاح تفتی سیما، باقری کاظم آباد محمدرضا. بهینه‌سازی سبد سهام با استفاده از الگوریتم فراابتکاری نهنگ با معیار ریسک ارزش در معرض ریسک شرطی. مهندسی مالی و مدیریت اوراق بهادار. ۱۳۹۷. (۹)۳۷: ۱۳۲-۱۱۰.

۱۵) کریمی آرزو، گودرزی دهریزی سارا. بهینه‌سازی سبد سهام با استفاده از الگوریتم رقابت استعماری (ICA) و الگوریتم ازدحام ذرات (PSO) تحت معیار ریسک ارزش در معرض خطر مشروط (CVaR). مهندسی مالی و مدیریت اوراق بهادار. ۱۳۹۹. (۴۵)۱۱: ۴۴۴-۴۲۳.

۱۶) نشاطی‌زاده لعیا، حیدری حسن. بررسی معیارهای نوسان‌پذیری و ریسک در مدلهای بهینه‌سازی مقید با استفاده از الگوریتم رقابت استعماری. فصلنامه مدلسازی اقتصادسنجی.۱۳۹۷. ۱ :۸۵-۲۲.

17) Alexander, G.J. and Baptistab, A.M. Economic implications of using a mean-VaR model for portfolio selection: A comparison with mean-variance analysis. Journal of Economic Dynamics & Control, 26(7-8), 2002, pp. 1159-1193.

18) Artzner, P., Delbaen, F., Eber, J.M. & Heath, D. Coherent measures of risk. Mathematical Finance, 9(3), 1999, 203-228.

19) Belousova, J., Dorfleitner, G. On the diversification benefits of commodities from the perspective of euro investors, Journal of Banking & Finance, 36, 2012, pp.2455–2472.

20) Bruno, S., Chincarini, L. A historical examination of optimal real return portfolios for non-US investors, Review of Financial Economics, 19, 2010, pp. 161–178.

21) Chang, T. J., Meade, N., Beasley, J. E. & Sharaiha, Y. M. Heuristics for cardinality constrained portfolio optimization. Computers & Operations Research, 27(13), 2000, pp. 1271-1302.

22) Chu, SC., Huang, HC., Roddick, J., pan, JS. Overview of algorithms for swarm intelligence. in :Jedrzejowicz P, Nguyen N, Hoang K (eds). Computational collective intelligence. Technologies and applications, 2011.

23) Fulton, L.V., Bastian, N.D. Multiperiod stochastic programming portfolio optimization for diversified funds. International Journal of Finance & Economics, 24(1), 2019, pp. 313-327.

24) Habib, M. M., Stracca, L. Getting beyond carry trade: What makes a safe haven currency?, Journal of International Economics, 87, 2012, pp. 50–64.

25) Karaboga, D. An idea based on honey bee swarm for numerical optimization. Technical report. Computer Engineering Department , Engineering Faculty, Erciyes University, 2011.
26) Karaboga, D., Akay B. A comparative study of artificial bee colony algorithm. Applied Mathematics and Computation, 214(1), 2009, pp. 108-132.
27) Kupiec, P. Techniques for Verifying the Accuracy of Risk Measurement Models. Journal of Derivatives, 3, 1995, pp. 73-84.
28) Macedo, L. L., Godinho, P., Alves, M. J. Mean-semivariance portfolio optimization with multiobjective evolutionary algorithms and technical analysis rules. Expert Systems with Applications, 79, 2017, pp. 33-43.
29) Mala, DJ., Mohan, V., kamalapriya, M. Automated software test optimization framework – an artificial bee colony optimization –based approach . IET software. 4(5), 2010, pp. 334-348.
30) Markowitz, H. Portfolio selection. The journal of finance, 7, 1952, pp. 7791.
31) McNeil, A. J., Frey, R. Estimation of tail-related risk measures for heteroscedastic financial time series: an extreme value approach. Journal of empirical finance, 7(3), 2000, pp. 271-300.
32) Mousavi, S., Esfahanipour, A., Fazel Zarandi, M. H., A Novel Approach to Dynamic Portfolio Trading System Using Multitree Genetic Programming. Knowledge-Based Systems, 66, 2014, pp. 68-81.
33) Pownall R., Optimal portfolio selection in a Value-at-Risk framework, Journal of banking and finance, 25 (9), 2017, pp. 1789-1804.
34) Yin, L., Han, L. International assets allocation with risk management via multi-stage stochastic programming. Computational Economics, 55(2), 2020, pp. 383-405.
35) Zhang, W.G., Liu, Y.J. and Xu, W.J. A possibilistic mean-semi variance entropy model for multi-period portfolio selection with transaction costs. European Journal of Operational Research, 222 (2), 2012, pp. 341-349.

یادداشت‌ها :

1Coherent
2 Value at Risk
3 Monotonicity
4 Homogeneity
5 Translation invariance
6 Subadditivity
7 Conditional Value at Risk
8 Artificial Bee Colony
9 Imperialist Competitive Algorithm