فصلنامه مهندسی مالی و مدیریت اوراق بهادار
شماره پنجاه و دو / پائیز ۱۴۰۱
نوع مقاله : علمی پژوهشی
صفحات : ۱۰۱-۸۱

# بررسی کارآمدی مدل‌های بهینه سازی؛ ارزش در معرض خطر مشروط و میانگین قدر مطلق انحراف و الگوریتم ازدحام ذرات تحت معیار ریسک CVaR و MAD در تعیین سبد سهام شرکت‌های پذیرفته شده در سازمان بورس اوراق بهادار

داریوش آدینه‌وند[۱]
ابراهیم‌علی رازینی[۲]
محمود خدام[۳]
فریدون اوحدی[۴]
الهام‌السادات هاشمی‌زاده[۵]

تاریخ دریافت مقاله : ۱۴۰۰/۰۸/۲۶ تاریخ پذیرش مقاله : ۱۴۰۰/۱۰/۰۸

چکیده

انتخاب سبد بهینه سهام یکی از اهداف مهم مدیریت سرمایه است. تکنیک‌ها و ابزارهای متعددی برای حل مساله سبد بهینه سهام وجود دارد. در این پژوهش با استفاده از داده‌های ۱۵ سهم از بازار سهام تهران انتخاب شده‌اند که شامل نمادهای؛ خپارس، خزامیا، وپاسار، فولاد، اخابر، کگل، فملی، تاپیکو، سپاها، فاذر، فخاس، شبهرن، شفن، قمرو و قثابت هستند. ابتدا بازده این سهام بصورت روزانه در بازه زمانی۱۳۹۴/۳/۳۱-۱۳۹۹/۳/۳۱ طی ۵ سال به مدت ۱۱۸۳ روز محاسبه شد و با استفاده از مدل‌های ریسک میانگین قدر مطلق انحراف و ارزش در معرض خطر مشروط، ریسک سبد سرمایه‌گذاری آنها محاسبه می‌شوند و این دو معیار از روش حل کلاسیک با هم مقایسه می‌شوند. خروجی بهینه سازی سبد با هر یک از این ریسک‌ها وزن متفاوتی از هر سهم را نشان می‌دهد. سپس مدل‌های ریسک انحراف مطلق و ارزش در معرض خطر مشروط از روش فرا ابتکاری الگوریتم ازدحام ذرات با هم مقایسه می‌شوند. نتایج حاکی از آن است که روش فرا ابتکاری الگوریتم ازدحام ذرات در مقایسه با روش کلاسیک بازدهی سبد بیشتری در معیار MAD به نمایش گذاشت. لذا این روش بهتری برای بهینه سازی سبد سهام می‌باشد.

**کلمات کلیدی**

بهینه سازی، الگوریتم ازدحام ذرات، ارزش در معرض خطر مشروط و میانگین قدر مطلق انحراف

۱-گروه حسابداری، واحد کرج، دانشگاه آزاد اسلامی، کرج، ایرن. d.adinehvand55@gmail.com
۲- گروه مدیریت، واحد کرج، دانشگاه آزاد اسلامی، کرج، ایران. (نویسنده مسئول) A_Razini@kiau.ac.ir
۳-گروه مدیریت صنعتی واحد کرج، دانشگاه آزاد اسلامی، کرج، ایران. khoddam1355@gmail.com
۴- گروه مهندسی صنایع، واحد کرج، دانشگاه آزاد اسلامی، کرج، ایران. Fohadi31@yahoo.com
۵-گروه ریاضی، واحد کرج، دانشگاه آزاد اسلامی، کرج ، ایران. hashemizadeh@kiau.ac.ir

**مقدمه**

بهینه سازی[1] روند بهبود یک مساله است. یک مهندس یا یک دانشمند ایده‌ی جدیدی را ابداع می‌کند، به وسیله بهینه سازی آن را بهبود می‌بخشد. به عبارت دیگر بهینه سازی عبارت است از اعمال تغییراتی بر روی یک مفهوم اولیه و استفاده از اطلاعات به دست‌آمده از آن تغییرات در جهت بهبود آن مفهوم یا ایده در صورتی که ایده مورد نظر یا متغیرهای موثر بر آن را بتوان بصورت یک ورودی الکترونیکی درآورد[۴]. مدیریت سرمایه و دارایی‌های مالی به دنبال انتخاب ترکیبی بهینه از دارایی‌های مالی است، که بتواند تقاضاهای مطلوب و نیازهای سرمایه‌گذاران را برآورده نمایند[۱۲].

انتخاب ابزار و تکنیک‌های که بتوانند یک سبد بهینه را شکل دهند مورد علاقه سرمایه‌گذاران است[۱۴]. هدف اصلی مدل سبد بهینه این است که به سرمایه‌گذاران کمک می‌کند تا سبد مطلوب را مطابق با ترجیحات و شرایط محیطی خود انتخاب نمایند.[۱۳]. در این پژوهش از ابزارهای متنوع بهینه‌سازی ارزش در معرض خطر مشروط، میانگین قدر مطلق انحراف و الگوریتم ازدحام ذرات تحت معیار ریسک CVaR و MAD بکارگیری می‌شود، با این هدف که سرمایه‌گذاران بتوانند با این ابزارها تصمیمات بهتری برای سرمایه‌گذاری اتخاذ نمایند. هر چند استفاده از این ابزارهای جدید و پیچیده ممکن است به صورت مجزا توسط برخی محققین و برای بررسی بعضی موضوعات صورت گرفته باشد اما ما تلاش می‌کنیم اولاً این ابزارها و مدلهای جدید را بسط دهیم و ثانیاً با مقایسه کارآمدی این مدل‌ها با استفاده از نرم‌افزار متلب (MATLAB R2019) بینش جدیدی برای فرایند تصمیم‌گیری سرمایه‌گذاران ارائه نمائیم. این موارد به عنوان رویکرد جدید و یک نوآوری در استفاده از ابزارها و مدلهای مذکور تلقی می‌شود و موجب می‌شود تا سرمایه‌گذاران نیز با پی بردن به نتایج آن در فرآیند سرمایه نسبت به محیط واقعی سرمایه‌گذاری آگاهی کسب کنند و بتوانند تصمیمات سرمایه‌گذاری بهتری اتخاذ نمایند.

**مبانی نظری و پیشینه پژوهش**

سرمایه‌گذاری عبارت از تبدیل وجوه مالی به یک یا چند نوع دارایی که برای مدتی در زمان آتی نگهداری خواهد شد. سرمایه‌گذران به دنبال اداره و ارتقای ثروت و دارایی خود از طریق سرمایه‌گذاری در یک ترکیب بهینه از دارایی‌های مالی می‌باشند. مفهوم ترکیب بهینه مهم است. برای اینکه ثروت افراد که به صورت دارایی‌های مختلف نگهداری می‌شود باید به صورت واحد ارزشیابی و مدیریت شود. ثروت باید به صورت پرتفلیو، مدیریت و ارزشیابی شود. پرتفلیو در برگیرنده‌ی مجموعه‌ی سرمایه‌گذاری یک سرمایه‌گذار است[۱]. سرمایه‌گذاران به هنگام سرمایه‌گذاری در دارایی‌های مختلف به طور هم زمان ریسک و بازده آن دارایی‌های را به عنوان یکی از عمده‌ترین عوامل در تصمیمات سرمایه‌گذاری مد نظر

قرار می‌دهند. مدیران ریسک بیشتر به دنبال ایجاد تعادل بین ریسک و بازده می‌باشند[۱۵]. نظریه مدرن پرتفوی بر اساس رابطه بازدهی و ریسک محاسبه شده از طریق واریانس و انحراف معیار بازدهی تبیین می‌شود و نظریه فرامدرن پرتفوی بر اساس رابطه بازدهی ریسک نامطلوب به تبیین رفتار سرمایه‌گذار و معیار انتخاب پرتفوی بهینه می‌پردازد. ارزش در معرض خطر حداکثر زیان احتمالی پرتفوی را در یک دوره زمانی مشخص با بیان کمی ارائه می‌دهد. مدل ارزش درمعرض‌خطر یکی از کلیدی‌ترین شاخص‌های اندازه‌گیری ریسک است که تحلیل‌گران مالی از آن استفاده متعدد می‌کنند[۱]. ارزش در معرض خطر بدترین زیان مورد انتظار را تحت شرایط عادی بازار و طی یک دورهٔ زمانی مشخص و در یک سطح اطمینان معین اندازه می‌گیرد[۹]. یکی دیگر از روش‌های اندازه‌گیری ریسک میانگین قدر مطلق انحراف است. در این روش دامنه تغییرات تعریف بسیار تقریبی از پراکندگی به دست می‌دهد[۱]. این روش یک مدل برنامه‌ریزی خطی است، که برای تعیین سبد بهینه سهام به محاسبه ماتریس کواریانس دارایی‌ها نیاز ندارد. در واقع این مدل به جای تفاوت توان دوم بازده‌ها از انحراف مطلق بازده‌ها برای تعیین سبد استفاده می‌کند [۳]. همان طوری که مشهود است، درجه دوم بودن معیار ریسک در مدل مارکویتز زمانی که تعداد سهام زیاد است محاسبات را دشوار می‌کند. کونو و یامازاکی[۲] (۱۹۹۱) برای رفع دشواری‌های درجه دوم بودن معیار ریسک در تعریف مارکویتز معیار انحراف مطلق از میانگین را به عنوان معیار ریسک تعریف کردند[۱۱].

در مباحث مربوط به علوم و مهندسی منظور از بهینه سازی یافتن نقطه کمینه یا بیشینه یک تابع معین، که معمولاً آن را تابع هدف[۳]می‌نامیم است. در یک طبقه‌بندی کلی، مسائل بهینه سازی به دو دسته عمده تقسیم می‌شوند: الف- مسائل بهینه سازی ترکیبی[۴] ب- مسائل بهینه سازی پیوسته[۵]

در مسائل بهینه سازی ترکیبی؛ دامنه تعریف مساله دارای ماهیت گسسته است. یعنی جواب‌های ممکن برای مساله بهینه سازی یک مجموعه شمارش‌پذیر تشکیل می‌دهند، ولی در عین حال تابع هدفی که قصد پیدا کردن نقطه بهینه آن را داریم یک تابع پیوسته است. در مسائل بهینه سازی پیوسته؛ پیدا کردن یک نقطه کمینه یا بیشینه سراسری تابع $f(x)$ تحت قیودی از نوع برابری و یا نابرابری است. در حالت‌های ساده می‌توان نقطه بهینه سراسری تابع $f(x)$ را بطور تحلیلی با استفاده از گرادیان[۶] تابع هدف به دست آورد. ولی در صورت وجود قیود پیچیده، زیاد بودن تعداد متغیرها، ناپیوسته بودن تابع هدف، تصادفی بودن متغیرها و غیره نمی‌توان با استفاده از روش‌های تحلیلی ساده جواب مساله بهینه‌سازی را محاسبه کرد[۶].

در طبقه‌بندی دیگر روش بهینه سازی به روش بهینه سازی کلاسیک و فرا ابتکاری بیان شده است[۷].

### روش بهینه سازی کلاسیک

روش بهینه سازی کلاسیک همان روش مبتنی بر مشتق ریاضی است. یکی از نقایص روش کلاسیک این است که در مسائل پیچیده، چند بعدی و یا مسائلی که ویژگی‌های گسستگی، مشتق ناپذیری و اغتشاش اطلاعات، فضای حالت ناپیوسته و معادله‌های غیرخطی پیچیده دارند، همانند مساله انتخاب و بهینه سازی سبد، فقط تا حد یافتن بهینه‌های محلی پیش می‌روند و از یافتن بهینه جامع و کلی مساله ناتوان هستند. در این روش برای برون رفت از جواب‌های محلی تصمیمی گرفته نشده است و همین که به پاسخی به نسبت بهینه می‌رسند، اگرچه ممکن است محلی باشد، حل را متوقف کرده و پاسخ را به عنوان بهینه جامع و کلی اعلام می‌نمایند.

### روش بهینه سازی فرا ابتکاری

روش بهینه سازی فرا ابتکاری برای حل مشکلات بیان شده که غالباً مسائل بهینه سازی با آنها روبه‌رو است به وجود آمده‌اند. آزمون این روش‌ها در مسائل مختلف فنی و مهندسی، اقتصاد، مالی و غیر نشان داده است که در صورت اجرای درست و انتخاب مناسب پارامترهای داخلی و متناسب با نوع مساله، با استفاده از این روش‌ها می‌تواند به پاسخ‌های مناسب‌تری از پاسخ‌های همتاهای کلاسیک‌شان دست یافت. عملکرد بهتر این روش‌ها به ماهیت طراحی آنها باز می‌گردد؛ اصولاً این روش‌ها ایجاد شدند تا کاستی‌های روش‌های کلاسیک را جبران کنند. آنها به گونه‌ای برنامه‌ریزی شده‌اند که تا در صورت امکان از بهینه‌های محلی، به اصطلاح «بیرون بپرند» و در آنها «گرفتار نشوند» و به بهینه‌ی جامع برسند[۵].

### پیشینه پژوهش

پس از ارائه مدل پرتفوی مارکویتز تلاش‌های زیادی در جهت توسعه آن مدل صورت پذیرفت.کونو و یامازاکی (۱۹۹۱) مدل میانگین- انحراف مطلق (MAD) را برای بهینه سازی پرتفوی ارائه کردند، که این مدل به یک برنامه‌ریزی خطی منجر شد. آنها اثبات کردند که این مدل خطی می‌تواند بر دشواری‌های مدل درجه دوم ریسک فائق آید و در عین حال مزایای آن را نیز حفظ نماید[۱۱].

کورا[۷](۲۰۰۹) از روش حرکت جمعی ذرات در مسئله بهینه سازی سبد سهام مقید استفاده می‌نماید. وی در این پژوهش قیمت‌های هفتگی تعداد محدودی از سهام در یک بازه‌ی زمانی ۵ ساله از سال ۱۹۹۲ تا ۱۹۹۷ را انتخاب نموده و با تکنیک مرز کارا رسم می‌نماید و نتیجه گرفت که این تکنیک در بهینه‌سازی پورتفوی بسیار موفق عمل می‌کند[۱۰].

یانگ و همکاران[۸](۲۰۱۳) در پژوهشی با عنوان انتخاب یک مدل بهینه سازی چند دوره‌ای پرتفوی

با بکار بردن تحلیل فاصله با استفاده از تئوری تصمیم‌گیری فازی و روش برنامه نویسی چند هدفه، مدلی ارائه دادند که نسبت به الگوریتم ازدحام ذرات بهبود یافته برای نشان دادن پرتفوی بهینه موثرتر است[۱۶].

بابت و همکاران[۹](۲۰۱۸) در پژوهشی با بهره‌گیری از برنامه‌ریزی عدد صحیح و ارزش در معرض خطر به محاسبه مقدار بهینه برای سبد سهام در کشور پرتغال پرداخته و به این نتیجه رسیدند که با لحاظ ارزش در معرض خطر مقدار بهینه سبد سهام در مقایسه با حالتی که ارزش در معرض خطر در تابع هدف لحاظ نشود، کمتر می‌باشد[۸].

رضا راعی و هدایت علی‌بیکی (۱۳۸۹) در پـژوهشی به حـل مسـئله بهینه سازی پرتفوی (مدل میانگین-واریانس) با استفاده از روش بهینه سازی حرکت جمعی ذرات پرداختند. بدین منظور با اسـتفاده از اطلاعـات قیمـت۲۰ سـهم پذیرفتـه‌شـده در بـورس اوراق بهادار تهران در فاصله زمانی مهر۱۳۸۵ تا شهریور۱۳۸۷، مرز کارای سرمایه‌گذاری رسم می‌شـود. نتایج این پژوهش نشان می‌دهد، روش بهینه‌سازی حرکـت جمعی ذرات در بهینـه‌سـازی پرتفـوی سهام با وجود محدودیت‌های بازار موفق است [۲]. فریدون رهنمایی رودپشتی و همکاران (۱۳۹۴) در پژوهش خود با عنوان بررسی کارایی بهینه‌سازی پرتفوی بر اساس مدل پایدار با بهینه سازی کلاسیک در پیش‌بینی ریسک و بازده ارائه داده‌اند. آن‌ها در این پژوهش مشخص کردند که بازده پیش‌بینی شده پرتفوی در مدل پایدار تفاوت معناداری با بازده پیش‌بینی شده در مدل کلاسیک ندارد و همچنین ریسک پیش‌بینی شده در مدل پایدار با ریسک پیش‌بینی شده در مدل کلاسیک تفاوت معناداری ندارد. لذا با بررسی بازدهی و ریسک پرتفوهای تشکیل شده براساس وزن ارائه شده توسط هر یک از مدل‌ها، مشخص گردید در بازار سرمایه ایران بازده واقعی از هر دو روش تفاوت معناداری با یکدیگر ندارند[۳].

## مدل‌های پژوهش

### مدل ارزش در معرض خطر مشروط

ارزش در معرض خطر بدترین زیان مورد انتظار را تحت شرایط عادی بازار و طی یک دورهٔ زمانی مشخص و در یک سطح اطمینان معین اندازه می‌گیرد [۹]. لذا معیار وزنی جایگزین برای ریسک، شرطی بودن ارزش در معرض خطر مشروط است. برای متغیرهای تصادفی با توابع توزیع پیوسته، $CVaR_{\alpha}(x)$ مشروط به اینکه $X \geq CVaR_{\alpha}(x)$ باشد. رابطه ریاضی روش ارزش در معرض خطر مشروط برای متغیرهای تصادفی با عملکرد توزیع ناپیوسته به شرح ذیل می‌باشد.

$$\mathrm{CVaR}_{\alpha}(X) = \int_{-\infty}^{\infty} z \, dF_X^{\alpha}(z) \quad (۱)$$

$$F_X^{\alpha}(z) = \begin{cases} 0. & \text{When } z < \mathrm{VaR}_{\alpha}(X). \\ \frac{F_X(z)-\alpha}{1-\alpha} & \text{when } z \geq \mathrm{VaR}_{\alpha}(X). \end{cases} \quad (۲)$$

$$\mathrm{CVaR}_{\alpha}^{+}(X) = E[X \mid X > \mathrm{VaR}_{\alpha}(X)] \quad (۳)$$

$$\mathrm{CVaR}_{\alpha}(x) = \lambda_{\alpha}(X)\mathrm{VaR}_{\alpha}(X) + \left(1 - \lambda_{\alpha}(X)\right) \mathrm{CVaR}_{\alpha}^{+}(x) \quad (۴)$$

$$\lambda_{\alpha}(X) = \frac{F_X \mathrm{VaR}_{\alpha}(X)) - \alpha}{1 - \alpha} \quad (۵)$$

$\mathrm{CVaR}_{\alpha}(X)$ برابر است با $\int_{-\infty}^{\infty} z$ انتگرال -+ بی‌نهایت برای متغیر $z$ و $dF_X^{\alpha}(z)$ دیفرانسیل $F_X^{\alpha}$ متغیر $z$ است، $F_X^{\alpha}(z)$ دارای دو بخش است، اول وقتی متغیر $z$ کوچکتر از $\mathrm{VaR}_{\alpha}(X)$ باشد، مقدار آن را برابر صفر قرار می‌دهیم، اما اگر متغیر $z$ بزرگتر از $\mathrm{VaR}_{\alpha}(X)$ باشد، از معادله $\frac{F_X(z)-\alpha}{1-\alpha}$ استفاده می‌کنیم.

**مدل میانگین قدر مطلق انحراف**

در مدل مارکویتز درجه دوم بودن معیار ریسک زمانی که تعداد سهام زیاد است محاسبات را دشوار می‌کند. کونو و یامازاکی (۱۹۹۱) برای رفع دشواری‌های درجه دوم بودن معیار ریسک در تعریف مارکویتز معیار انحراف مطلق از میانگین را به عنوان معیار ریسک تعریف کردند[۱۱].

$$\text{Minimize } \frac{1}{T}\sum_{t=1}^{T} Y_t \quad (۶)$$

Subject to:

$$Y_t \geq \sum_{j=1}^{N} \left[ \left(r_{tj} X_j\right) - E_0 \right] : t = 1.2 \ldots . T \quad (۷)$$

$$Y_t \geq \sum_{j=1}^{N} \left[ E_0 - \left(r_{tj} X_j\right) \right] : t = 1.2 \ldots . T \quad (۸)$$

$$Y_t \geq 0 : t = 1.2. \ldots . T \quad (۹)$$

$$\acute{X}\mu = E_0 \quad (۱۰)$$

$$Y_t \geq \sum_{j=1}^{N} X_j = 1 \quad (۱۱)$$

$$\text{Minimize } \lambda\left[\sum_{t=1}^{T} | r_t - \bar{r} | / T\right] - 1 \qquad (۱۲)$$

در این مدل :

r = بازده سهام، T = دوره، N = تعداد سهام، $x_j$ = مقدار سرمایه‌گذاری در سهام j ام، $\mu$ = میانگین بازده هر سهم، $E_0$ = بازده مورد انتظار سبد سهام، y = بازده مورد انتظار سبد سهام-بازده مشاهده شده (بازده واقعی) سبد سهام

**مدل الگوریتم ازدحام ذرات**

در مدل الگوریتم ازدحام ذرات ابتدا تعدادی ذره با موقعیت و سرعت تصادفی ایجاد می‌کنیم. در هر تکرار ذرات بر حسب بهترین موقعیت گذشته خود و همسایگانشان حرکت به سوی هدف را اصلاح می‌نماید و پس از تکرارهای متوالی، مساله به جواب بهینه همگرا خواهد شد. اصلاح سرعت و موقعیت هر ذره توسط رابطه‌های (۱۳ و ۱۴) صورت می پذیرد.

$$v_i(t+1) = wv_i(t) + c_1 rand_1\left(pbest_i(t) - x_i(t)\right) + c_2 rand_2\left(gbest_i(t) - x_i(t)\right) \qquad (۱۳)$$

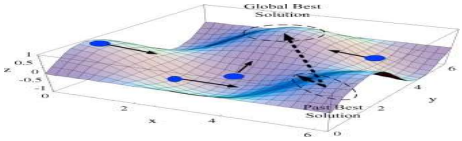
$$x_i(t+1) = x_i(t) + v_i(t+1) \qquad (۱۴)$$

در این معادلات، g مبین شاخص به کار رفته برای ذره‌ای است که بهترین موقعیت را دارد، t نمایانگر تعداد تکرار، c نشان دهنده شاخص شتاب و نیز $r_1$ و $r_2$اعدادی تصادفی در بازه (۰و۱) می باشند. ضرایب $c_1$(پارامتری مثبت به نام پارامتری شناختی) و $c_2$(پارامتری مثبت به نام پارامتری اجتماعی)، شیب حرکت در جستجوی محلی را مشخص می‌کنند و در بازه (۰ و ۲) انتخاب می‌شوند. در بیشتر موارد برای هر دوی آنان از مقدار ۱/۴۹ و یا ۲ استفاده شده است[۵]. مدل الگوریتم ازدحام ذرات با به روز کردن نسل‌ها سعی در یافتن راه‌حل بهینه می‌نماید. در هر گام، هر ذره با استفاده از دو بهترین مقدار به روز می‌شود. اولین مورد بهترین موقعیتی است که تا کنون ذره موفق به رسیدن به آن شده است. موقعیت مذکور با نام pbest شناخته و نگهداری می‌شود. بهترین مقدار دیگری که توسط الگوریتم مورد استفاده قرار می‌گیرد، بهترین موقعیتی است که تا کنون توسط جمعیت ذرات بدست آمده است. این موقعیت با gbest نمایش داده‌می‌شود. ضریب اینرسی $\omega$ به صورت‌خطی کاهش‌می‌یابد که معمولا در بازه (۰ و ۱) می‌باشد. در بیشتر آزمایشات از ۹/. شروع شده و تا ۴/. کم می‌گردد. با توجه به اینکه $\omega$ رفته رفته کاهش می‌یابد، ولی ضرایب $c_1$ و $c_2$همواره ثابت هستند. بنابراین با ادامه جستجو از میزان جستجوی سراسری کم شده و جستجوی محلی افزایش می‌یابد تا بهینه‌ترین جواب به دست آید. هر چه شیب کاهشی $\omega$

کمتر باشد، امکان پیدا کردن جواب بهینه سراسری افزایش پیدا می‌کند. برای جلوگیری از کاهش دفعتی ضریب اینرسی که باعث‌می‌شود الگوریتم ازدحام ذرات‌درآخرین مراحل‌همگرایی به کندی پیش‌رود و در برخی از موارد مانع از پیشروی جستجو شود، از رابطه (۱۵) برای به هنگام سازی $\omega$ استفاده شده است.

$$\omega = \frac{0/5(\text{MAX}\times\text{iter})}{\text{MAX}} + 0/4 \qquad (۱۵)$$

که در آن مقادبر اولیه و نهایی ضریب اینرسی به ترتیب ۹/. و ۴/. ، Max مبین بیشترین مقدار تعیین شده برای حد تکرارها در جستجوی pso و iter مبین تعداد تکرارها تا به حال می‌باشد[۴].




**نمودار ۱ : نمایی از بهترین راحل بهینه‌یابی محلی و سراسری را نشان می‌دهد.**

### حرکت دسته جمعی ذرات

حرکت دسته جمعی ذرات یک روش بهینه سازی احتمالی است که بر مبنای جمعیت کار می‌کند. این توسط دکتر ابرهارت و دکترکندی (۱۹۹۵) ارائه شد و ایده اصلی آن از رفتار دسته جمعی پرندگان به هنگام جستجوی غذا الهام گرفته شده است. گروهی از پرندگان در فضایی به صورت تصادفی به دنبال غذا می‌گردند. تنها یک تکه غذا در فضای مورد بحث وجود دارد. هیچ یک از پرندگان محل غذا را نمی‌دانند. یکی از بهترین استراتژی‌ها می‌تواند دنبال کردن پرنده‌ای باشد که کمترین فاصله را تا غذا داشته باشد. این استراتژی در واقع ریشه اصلی الگوریتم ازدحام ذرات است. در الگوریتم ازدحام ذرات هر راه‌حل که به آن یک ذره گفته می‌شود، معادل یک پرنده در الگوی حرکت جمعی پرندگان می‌باشد. هر ذره یک مقدار شایستگی دارد که توسط یک تابع شایستگی محاسبه می‌شود. هر چه ذره در فضای جستجو به هدف (غذا در مدل حرکت پرندگان)، نزدیکتر باشد، شایستگی بیشتری دارد. همچنین هر ذره دارای یک سرعت است که هدایت حرکت ذره را بر عهده دارد. هر ذره با دنبال کردن ذرات بهینه در حالت فعلی به حرکت خود در فضای مسئله ادامه می‌دهد.

**نمودار ۲ : نمایی از حرکت دسته جمعی پرندگان**

در الگوریتم pso ذرات به تدریج به سمت بهترین راه‌حل پیدا شده تا به حال حرکت می‌کنند. اگر این راه‌حل یک راه‌حل بهینه باشد ذرات همگی به سمت آن راه‌حل می‌روند[۴].

**روش حل مسائل بهینه سازی پیوسته تحت قید الگوریتم ازدحام ذرات**

یک مساله بهینه سازی تحت قید را به صورت

$$\max f(x) \qquad (۱۶)$$

با قیود نابرابری

$$g_j(x) \leq 0 \; ; \qquad j=1.2.\ldots.m \qquad (۱۷)$$

در نظر بگیرد. برای حل مساله بهینه سازی تحت قید فوق، ابتدا تابع بدون قید، معادل، $f(x)$ ، را با اعمال تابع جریمه به قیود مساله ایجاد می‌کنیم. در حالت کلی برای ساختن$f(x)$ از دو نوع تابع جریمه می‌توان استفاده کرد. در اولین نوع، که به تابع جریمه ایستا معروف است، از پارامترهای جریمه ثابتی در طی فرآیند بهینه سازی استفاده می‌شود و مقدار جریمه اعمال شده نیز به میزان نقض قیود مساله بستگی داد. در دومین نوع، که به تابع جریمه غیر ایستا معروف است، پارامترهای جریمه در طی اجرای الگوریتم با تغییر شماره تکرار عوض می‌شوند. محاسبات عددی متعدد نشان می‌دهند که نتایج بدست آمده از اعمال توابع جریمه غیر ایستا بهتر از نتایج حاصل از اعمال توابع جریمه ایستا هستند. به همین دلیل در موقع حل مسائل بهینه‌سازی کاربردی معمولاً از توابع جریمه غیر ایستا استفاده می‌شوند. در ادامه، با یک روش اعمال تابع جریمه غیر ایستا به مسئله مورد نظر آشنا می‌شویم. برای استفاده از تابع جریمه غیر ایستا، تابع $f(x)$ را می‌توان به صورت زیر در نظر گرفت:

$$F(X) = f(x) + C(i)\, H(X) \qquad (۱۸)$$

که در آن $C(i)$پارامتر جریمه‌ای است که مقدار آن با تغییر شماره تکرار $i$ تغییر می‌کند و$H(X)$ فاکتور جریمه است. در معادله (۲۰) جملات$H(X)$ و $C(i)$ با استفاده از معادلات زیر تعریف می‌شوند:

$$C(i) = (ci)^{\alpha} \qquad (۱۹)$$

$$H(X) = \sum_{j=1}^{m} \{\varphi[q_i(x)][q_i(x)]^{\gamma[q.i(x)]} \qquad (۲۰)$$

$$\varphi[q_i(x)] = a\left(1 - \frac{1}{e^{qj(x)}}\right) + b \qquad (۲۱)$$

$$q_j(x) = \max\{0. g_j(x)\}. \qquad j = 1.2. \ldots. m \qquad (۲۲)$$

در معادلات( ۲۱) و (۲۳) پارامترهای $a, b, c. \alpha$ برابر با اعداد ثابتی هستند. توجه کنید که در معادلات فوق تابع $q_j(x)$ در واقع بیانگر میزان نقض قید $j$ ام و $\gamma[q_i(x)]$ توان قید نقض شده است. اگر متغیر $x$ قید $g_j(x) \leq 0$ را نقض نکند داریم $q_j(x) = 0$ و در نتیجه این قید تاثیری در مقدار $H(X)$ نخواهد داشت[۶]. در این پژوهش با توجه به اینکه هر ذره نمایانگر یک سبد سهام است و ذرات با بهترین موقعیت مرز کارای سرمایه‌گذاری را شکل می‌دهند. جمعیت اولیه به تعداد ۱۵ ذره می‌باشد، در نظر گرفته می‌شود و الگوریتم بعد از حداکثر ۲۰۰ بار تکرار متوقف می‌شود، در هر تکرار بهترین موقعیت مربوط به هر ذره و بهترین موقعیت همسایگی در جمعیت در صورتی که تغییری در مقادیر برازش مشاهده شود، بهنگام می‌شود. اهمیت مربوط به بهترین وضعیت شخصی و وضعیت جمعی در نظر گرفته می‌شود. تابع تکثیر ذرات برای افزایش سرعت تکثیر Repeat استفاده می‌شود، در هر تکرار بهترین موقعیت مربوط به هر ذره و بهترین موقعیت همسایگی در جمعیت در صورتی که تغییری در مقادیر برازش مشاهده شود، بهنگام می‌شود.

پارمترهای الگوریتم ازدحام ذرات به شرح جدول (۱) می باشد.

**جدول ۱: پارامترهای الگوریتم ازدحام ذرات**

| | |
|---|---|
| جمعیت ذرات | ۱۵ |
| وزن اینرسی(ω) | ۰/۹ – ۰/۴ |
| ماکزیمم تعداد تکرار(MAXIT) | ۲۰۰ |
| ضریب یادگیری شخصی (C1) | ۲ |
| ضریب یادگیری جمعی (C2) | ۲ |
| Global Best COST | INF=۰ |
| تابع تکثیر | Repmat |
| سرعت اولیه ذرات | صفر |

**سؤالات و فرضیات پژوهش**

**سؤال:** کدام یک از الگوهای"الگوریتم ازدحام ذرات (تحت معیار ریسک CVaR و MAD)، ارزش در معرض خطر مشروط و میانگین قدر مطلق انحراف" از کارآمدی بالاتری در انتخاب سبد بهینه برخوردار است؟

**فرضیه:** مدل بهینه سازی الگوریتم ازدحام ذرات از مدل‌های ارزش در معرض خطر مشروط و میانگین قدر مطلق انحراف کارآمدتر می‌باشد.

## روش‌شناسی پژوهش

پژوهش حاضر از منظر داده‌ها کمی است و با توجه به استفاده از داده‌های تاریخی شرکت‌ها از لحاظ طرح تحقیق پس رویدادی است. در این پژوهش ابتدا سری زمانی قیمت معاملاتی سهام ۱۵ شرکت برتر بورس اوراق بهادار تهران در بازه زمانی ۱۳۹۴/۳/۳۱ تا ۱۳۹۹/۳/۳۱ به تعداد ۱۱۸۳روز از سایت بورس اوراق بهادار (www.tse.ir) در قالب داده‌های اکسل گردآوری شد. سپس با انتقال داده‌ها به نرم‌افزارهای SPSS و EVIEWS10 سری زمانی از نظر هم انباشتگی مورد بررسی قرار گرفت، زیرا زمانی که متغیرهای مورد استفاده در رگرسیون از نوع سری زمانی بوده و مانا نباشند، پدیده‌ای به نام رگرسیون کاذب به وجود می‌آید، اگر تمام متغیرهای به کار رفته در مدل رگرسیونی با هم مانا شوند یعنی باقی مانده‌های حاصل از مدل ایستا باشند، آنگاه پدیده هم انباشتگی به وجود می‌آید. روش‌های متعددی برای آزمون هم انباشتگی وجود دارد. که توسط آزمون ریشه واحد دیکی- فولر بر روی پسماندهای مدل محاسبات انجام می‌شود و اگر سری پسماندها مانا شوند تأییدی بر هم انباشتگی سری زمانی است.

**جدول ۲ : آزمون هم انباشتگی ریشه واحد دیکی-فولر**

Group Unit Root Test on UNTITLED

Group unit root test: Summary
Series: SERIES01, SERIES02, SERIES03, SERIES04, SERIES05, SERIES06, SERIES07, SERIES08, SERIES09, SERIES10, SERIES11, SERIES12, SERIES13, SERIES14, SERIES15
Date: 09/13/21 Time: 00:24
Sample: 1 1184
Exogenous variables: Individual effects
Automatic selection of maximum lags
Automatic lag length selection based on SIC: 1 to 19
Newey-West automatic bandwidth selection and Bartlett kernel

| Method | Statistic | Prob.** | Cross-sections | Obs |
|---|---|---|---|---|
| Null: Unit root (assumes common unit root process) | | | | |
| Levin, Lin & Chu t* | -38.4405 | 0.0000 | 15 | 17636 |
| Null: Unit root (assumes individual unit root process) | | | | |
| Im, Pesaran and Shin W-stat | -35.2708 | 0.0000 | 15 | 17636 |
| ADF - Fisher Chi-square | 1141.38 | 0.0000 | 15 | 17636 |
| PP - Fisher Chi-square | 1105.66 | 0.0000 | 15 | 17745 |

** Probabilities for Fisher tests are computed using an asymptotic Chi -square distribution. All other tests assume asymptotic normality.

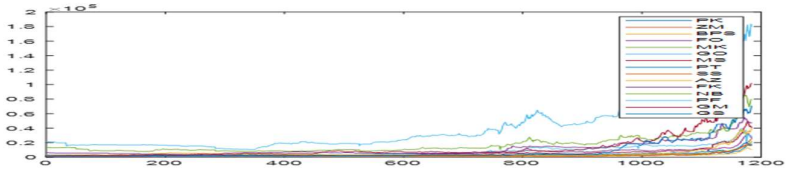
ماخذ: محاسبات تحقیق

با توجه به جدول (۲) چون احتمال آزمون از ۰/۰۵ کمتر است، بنابراین فرض $H_0$ رد می‌شود و درنتیجه سری زمانی هم انباشته است و داده‌ها مانا هستند. پس از اطمینان از مانایی داده‌ها، برای محاسبه بازدهی از بازده لگاریتمی استفاده شد. محاسبه بازده لگاریتمی قیمت معاملات روزانه سهام کمک خواهد کرد که در صورت عدم همگن بودن داده‌های مورد استفاده، آنها همگن و همنوع گشته و محاسبات آماری و احتمالاتی آنها ساده گردد. بازده لگاریتمی از رابطه زیر محاسبه می‌شود:

$$r_t \ln(1 + R_t) \ln \frac{P_t}{P_t - 1}$$

پس از محاسبه بازدهی، شبیه‌سازی الگوریتم ازدحام ذرات تحت معیار ریسک CVaR و MAD در

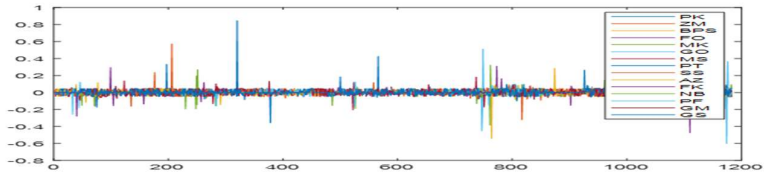
محیط نرم‌افزار متلب پیاده سازی می‌شود و با استفاده از سری زمانی بازده سهم‌ها و پارامترهای ورودی الگوریتم ازدحام ذرات به بهینه سازی سبد سهام پرداخته می‌شود. ابتدا روند قیمت سهام سبد بصورت روزانه در بازه زمانی ۱۳۹۴/۳/۳۱-۱۳۹۹/۳/۳۱ طی ۵ سال به مدت ۱۱۸۳روز محاسبه و بشرح نمودار شماره (۳) می‌باشند.



ماخذ: محاسبات تحقیق

**نمودار۳ : روند قیمت هر سهم در بازه زمانی ۵ ساله**

بازده لگاریتمی سبد سهام بصورت روزانه در بازه زمانی ۱۳۹۴/۳/۳۱-۱۳۹۹/۳/۳۱ طی ۵ سال به مدت ۱۱۸۳ روز محاسبه و بصورت نمودار شماره (۴) می‌باشند.



ماخذ: محاسبات تحقیق

**نمودار ۴ : بازده لگاریتمی هر سهم**

## یافته‌های پژوهش

ابتدا با استفاده از نرم‌افزار متلب میزان وزن هر سهم و میزان بازده و ریسک ۱۰ سبد پیشنهادی برای هر سبد بر اساس مدل‌های بهینه سازی"ارزش در معرض خطر مشروط، میانگین قدر مطلق انحراف و الگوریتم ازدحام ذرات"محاسبه گردید.

## حل مدل ارزش در معرض خطر مشروط

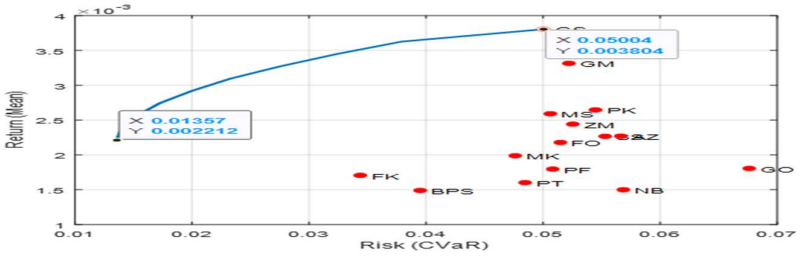
وزن هر سهم و میزان بازده و ریسک ۱۰ سبد پیشنهادی مدل ارزش در معرض خطر مشروط محاسبه و نتایج آن به شرح جدول (۳) می‌باشد.

**جدول ۳ : وزن هر سهم با بازده و ریسک ۱۰ سناریو سبد CVAR**

| scenario | PKOD1 | ZMYD1 | BPAS1 | FOLD1 | MKBT1 | GOLG1 | MSMI1 | PTAP1 | SSEP1 | AZAB1 | FKAS1 | NBEH1 | PFAN1 | GMRO1 | GSBE1 | Risk | Return | Return/Risk |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| ۱ | ۰,۰۰۹۱ | ۰,۰۸۱۱ | ۰,۰۷۶۴ | ۰,۰۳۴۰ | ۰,۰۵۷۰ | ۰,۰۱۱۲ | ۰,۰۷۴۶ | ۰,۱۰۱۲ | ۰,۰۸۲۵ | ۰,۰۴۳۸ | ۰,۱۶۷۶ | ۰,۰۴۶۸ | ۰,۰۵۶۰ | ۰,۰۶۹۴ | ۰,۰۸۹۱ | ۰,۰۱۳۵۷ | ۰,۰۰۲۲۱ | ۰,۱۶۲۹ |
| ۲ | ۰,۰۰۳۵ | ۰,۰۶۲۹ | ۰,۰۵۹۶ | ۰,۰۳۷۳ | ۰,۰۵۷۳ | ۰,۰۲۰۶ | ۰,۰۸۸۲ | ۰,۰۷۰۷ | ۰,۰۸۲۷ | ۰,۰۴۳۸ | ۰,۱۴۶۲ | ۰,۰۴۲۱ | ۰,۰۳۵۳ | ۰,۱۰۳۴ | ۰,۱۴۶۵ | ۰,۰۱۴۰۲ | ۰,۰۰۲۳۹ | ۰,۱۷۰۳ |
| ۳ | ۰,۰۰۱۸ | ۰,۰۷۵۵ | ۰,۰۴۸۸ | ۰,۰۴۱۶ | ۰,۰۶۲۹ | ۰,۰۱۵۴ | ۰,۱۰۸۸ | ۰,۰۲۶۰ | ۰,۰۸۲۹ | ۰,۰۴۷۳ | ۰,۱۰۱۸ | ۰,۰۲۴۴ | ۰,۰۴۱۷ | ۰,۱۳۳۲ | ۰,۱۸۷۸ | ۰,۰۱۵۳۰ | ۰,۰۰۲۵۷ | ۰,۱۶۷۷ |
| ۴ | ۰,۰۰۸۵ | ۰,۰۸۶۳ | ۰,۰۰۲۰ | ۰,۰۵۱۴ | ۰,۰۵۸۲ | ۰,۰۱۹۵ | ۰,۱۱۵۳ | ۰,۰۱۴۳ | ۰,۰۸۱۸ | ۰,۰۵۰۵ | ۰,۰۸۶۱ | ۰,۰۰۵۲ | ۰,۰۲۸۱ | ۰,۱۵۹۴ | ۰,۲۳۳۵ | ۰,۰۱۷۲۳ | ۰,۰۰۲۷۴ | ۰,۱۵۹۲ |
| ۵ | ۰,۰۲۴۸ | ۰,۰۹۱۰ | ۰,۰۰۰۰ | ۰,۰۴۴۳ | ۰,۰۴۱۹ | ۰,۰۲۳۹ | ۰,۱۳۲۸ | ۰,۰۰۰۰ | ۰,۰۸۶۰ | ۰,۰۵۴۲ | ۰,۰۳۰۳ | ۰,۰۰۰۰ | ۰,۰۰۰۳ | ۰,۱۹۵۳ | ۰,۲۷۵۳ | ۰,۰۱۹۹۸ | ۰,۰۰۲۹۲ | ۰,۱۴۶۱ |
| ۶ | ۰,۰۱۱۷ | ۰,۰۵۸۹ | ۰,۰۰۰۰ | ۰,۰۰۵۴ | ۰,۰۳۳۴ | ۰,۰۲۱۰ | ۰,۱۲۳۴ | ۰,۰۰۰۰ | ۰,۰۹۹۲ | ۰,۰۵۶۴ | ۰,۰۰۰۰ | ۰,۰۰۰۰ | ۰,۰۰۰۰ | ۰,۲۳۳۰ | ۰,۳۵۷۷ | ۰,۰۲۳۳۰ | ۰,۰۰۳۱۰ | ۰,۱۳۲۹ |
| ۷ | ۰,۰۱۸۱ | ۰,۰۳۷۷ | ۰,۰۰۰۰ | ۰,۰۰۰۰ | ۰,۰۰۰۰ | ۰,۰۰۰۰ | ۰,۱۰۸۲ | ۰,۰۰۰۰ | ۰,۰۸۷۰ | ۰,۰۳۹۷ | ۰,۰۰۰۰ | ۰,۰۰۰۰ | ۰,۰۰۰۰ | ۰,۲۷۰۸ | ۰,۴۳۸۴ | ۰,۰۲۷۵۸ | ۰,۰۰۳۲۷ | ۰,۱۱۸۷ |
| ۸ | ۰,۰۳۲۲ | ۰,۰۲۵۹ | ۰,۰۰۰۰ | ۰,۰۰۰۰ | ۰,۰۰۰۰ | ۰,۰۰۰۰ | ۰,۰۹۱۲ | ۰,۰۰۰۰ | ۰,۰۲۲۷ | ۰,۰۰۰۰ | ۰,۰۰۰۰ | ۰,۰۰۰۰ | ۰,۰۰۰۰ | ۰,۲۷۷۸ | ۰,۵۵۰۳ | ۰,۰۳۲۴۲ | ۰,۰۰۳۴۵ | ۰,۱۰۶۴ |
| ۹ | ۰,۰۰۰۰ | ۰,۰۰۰۰ | ۰,۰۰۰۰ | ۰,۰۰۰۰ | ۰,۰۰۰۰ | ۰,۰۰۰۰ | ۰,۰۲۵۶ | ۰,۰۰۰۰ | ۰,۰۰۰۰ | ۰,۰۰۰۰ | ۰,۰۰۰۰ | ۰,۰۰۰۰ | ۰,۰۰۰۰ | ۰,۲۹۸۲ | ۰,۶۷۶۲ | ۰,۰۳۷۹۴ | ۰,۰۰۳۶۳ | ۰,۰۹۵۶ |
| ۱۰ | ۰,۰۰۰۰ | ۰,۰۰۰۰ | ۰,۰۰۰۰ | ۰,۰۰۰۰ | ۰,۰۰۰۰ | ۰,۰۰۰۰ | ۰,۰۰۰۰ | ۰,۰۰۰۰ | ۰,۰۰۰۰ | ۰,۰۰۰۰ | ۰,۰۰۰۰ | ۰,۰۰۰۰ | ۰,۰۰۰۰ | ۰,۰۰۰۰ | ۱,۰۰۰۰ | ۰,۰۵۰۰۴ | ۰,۰۰۳۸۰ | ۰,۰۷۶۰ |

ماخذ: محاسبات تحقیق

در جدول (۳) نتایج ۱۰ سبد پیشنهادی با وزن ایده‌آل برای هر سهم ارائه شده است. دومین سبد وزن ایده‌آل هر سهم در سبد با استفاده از نسبت بازده با ریسک سبد دارای بازده ۰/۱۷۰۳ می‌باشد که در مقایسه با سایر سبدها دارای بیشترین بازده است.




ماخذ: محاسبات تحقیق

**نمودار ۵ : مرز کارا سبد با روش CVAR**

در نمودار (۵) مشاهده می‌شود نماد قثابت دارای بازده ۰/۰۰۳۸۰۴ و ریسک ۰/۰۵۰۰۴ در راس مرزکارا می‌باشد. لذا مشاهده می‌شود که با افزایش میزان بازده میزان ریسک هم افزایش یافته است.

**حل مدل میانگین قدر مطلق انحراف**

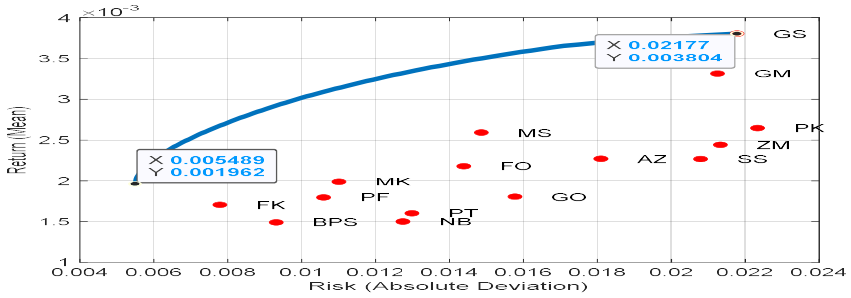
وزن هر سهم و میزان بازده و ریسک ۱۰ سبد پیشنهادی مدل بهینه سازی میانگین قدر مطلق انحراف محاسبه و نتایج آن به شرح جدول (۴) می‌باشد.

**جدول ۴ : وزن هر سهم با بازده و ریسک ۱۰ سناریو سبد MAD**

| scenario | PKOD1 | ZMYD1 | BPAS1 | FOLD1 | MKBT1 | GOLG1 | MSMI1 | PTAP1 | SSEP1 | AZAB1 | FKAS1 | NBEH1 | PFAN1 | GMRO1 | GSBE1 | Risk | Return | Return/Risk |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| ۱ | ۰,۰۲۰۴ | ۰,۰۳۱۵ | ۰,۱۹۴۹ | ۰,۰۱۸۰ | ۰,۰۸۸۴ | ۰,۰۲۷۷ | ۰,۰۴۰۸ | ۰,۰۶۷۴ | ۰,۰۳۲۷ | ۰,۰۳۳۹ | ۰,۲۶۱۹ | ۰,۰۲۴۱ | ۰,۰۶۹۴ | ۰,۰۳۹۶ | ۰,۰۴۹۴ | ۰,۰۰۶۴ | ۰,۰۰۲۰ | ۰,۳۰۷۲ |
| ۲ | ۰,۰۲۰۵ | ۰,۰۳۱۶ | ۰,۱۹۵۱ | ۰,۰۱۷۹ | ۰,۰۸۸۴ | ۰,۰۲۷۸ | ۰,۰۴۰۶ | ۰,۰۶۷۵ | ۰,۰۳۲۶ | ۰,۰۳۳۹ | ۰,۲۶۱۸ | ۰,۰۲۴۰ | ۰,۰۶۹۴ | ۰,۰۳۹۵ | ۰,۰۴۹۴ | ۰,۰۰۶۴ | ۰,۰۰۲۰ | ۰,۳۰۷۱ |
| ۳ | ۰,۰۲۱۴ | ۰,۰۳۳۶ | ۰,۱۸۸۲ | ۰,۰۱۸۲ | ۰,۰۸۸۸ | ۰,۰۲۷۸ | ۰,۰۴۲۱ | ۰,۰۶۷۱ | ۰,۰۳۳۰ | ۰,۰۳۴۰ | ۰,۲۵۵۴ | ۰,۰۲۲۱ | ۰,۰۶۸۶ | ۰,۰۴۳۵ | ۰,۰۵۶۳ | ۰,۰۰۶۴ | ۰,۰۰۲۰ | ۰,۳۱۱۱ |
| ۴ | ۰,۰۳۵۲ | ۰,۰۵۰۴ | ۰,۱۳۲۴ | ۰,۰۲۵۸ | ۰,۰۹۱۲ | ۰,۰۲۷۵ | ۰,۰۷۴۵ | ۰,۰۴۱۹ | ۰,۰۳۶۳ | ۰,۰۳۷۱ | ۰,۱۸۰۲ | ۰,۰۱۳۰ | ۰,۰۶۱۱ | ۰,۰۷۸۳ | ۰,۱۱۵۰ | ۰,۰۰۶۹ | ۰,۰۰۲۳ | ۰,۳۲۸۱ |
| ۵ | ۰,۰۴۳۱ | ۰,۰۶۱۸ | ۰,۰۴۲۵ | ۰,۰۳۴۷ | ۰,۰۸۶۸ | ۰,۰۲۳۳ | ۰,۱۰۴۰ | ۰,۰۱۵۰ | ۰,۰۴۴۷ | ۰,۰۴۲۷ | ۰,۱۶۶۲ | ۰,۰۰۳۱ | ۰,۰۴۲۹ | ۰,۱۱۷۵ | ۰,۱۷۱۸ | ۰,۰۰۷۹ | ۰,۰۰۲۵ | ۰,۳۱۸۷ |
| ۶ | ۰,۰۵۴۴ | ۰,۰۷۹۵ | ۰,۰۰۲۶ | ۰,۰۳۴۰ | ۰,۰۷۰۶ | ۰,۰۱۸۹ | ۰,۱۳۵۵ | ۰,۰۰۴۷ | ۰,۰۵۹۰ | ۰,۰۴۲۲ | ۰,۰۹۲۰ | ۰,۰۰۲۰ | ۰,۰۱۳۶ | ۰,۱۵۳۰ | ۰,۲۳۸۰ | ۰,۰۰۹۴ | ۰,۰۰۲۸ | ۰,۲۹۵۹ |
| ۷ | ۰,۰۷۹۵ | ۰,۰۹۹۸ | ۰,۰۰۰۰ | ۰,۰۰۶۷ | ۰,۰۵۳۳ | ۰,۰۰۷۴ | ۰,۱۷۱۰ | ۰,۰۰۰۰ | ۰,۰۲۶۴ | ۰,۰۴۴۲ | ۰,۰۰۰۰ | ۰,۰۰۰۰ | ۰,۰۰۰۰ | ۰,۲۱۴۰ | ۰,۲۹۷۸ | ۰,۰۱۱۳ | ۰,۰۰۳۰ | ۰,۲۶۹۰ |
| ۸ | ۰,۰۶۴۰ | ۰,۰۵۹۹ | ۰,۰۰۰۵ | ۰,۰۰۲۴ | ۰,۰۰۹۱ | ۰,۰۰۴۷ | ۰,۱۱۰۳ | ۰,۰۰۱۱ | ۰,۰۰۳۲ | ۰,۰۱۶۱ | ۰,۰۰۳۸ | ۰,۰۰۰۰ | ۰,۰۰۰۱ | ۰,۳۱۲۰ | ۰,۴۱۲۹ | ۰,۰۱۳۸ | ۰,۰۰۳۳ | ۰,۲۳۸۹ |
| ۹ | ۰,۰۱۸۴ | ۰,۰۰۱۲ | ۰,۰۰۰۵ | ۰,۰۰۱۹ | ۰,۰۰۱۱ | ۰,۰۰۱۲ | ۰,۰۰۷۹ | ۰,۰۰۴۹ | ۰,۰۰۰۰ | ۰,۰۰۰۰ | ۰,۰۰۲۱ | ۰,۰۰۰۶ | ۰,۰۰۰۰ | ۰,۴۰۶۴ | ۰,۵۵۳۹ | ۰,۰۱۷۳ | ۰,۰۰۳۵ | ۰,۲۰۵۴ |
| ۱۰ | ۰,۰۰۲۰ | ۰,۰۰۰۸ | ۰,۰۰۱۰ | ۰,۰۰۰۰ | ۰,۰۰۰۰ | ۰,۰۰۰۰ | ۰,۰۰۰۲ | ۰,۰۰۰۰ | ۰,۰۰۲۲ | ۰,۰۰۰۲ | ۰,۰۰۰۶ | ۰,۰۰۰۳ | ۰,۰۰۳۱ | ۰,۳۹۲۷ | ۰,۵۹۶۹ | ۰,۰۱۷۹ | ۰,۰۰۳۶ | ۰,۲۰۱۱ |

ماخذ: محاسبات تحقیق

در جدول (۴) نتایج ۱۰ سبد پیشنهادی با وزن ایده‌آل برای هر سهم ارائه شده است. چهارمین سبد دارای بازده ۰/۳۲۸۱ می‌باشد که در مقایسه با سایر سبدها دارای بیشترین بازده است.




ماخذ: محاسبات تحقیق

**نمودار ۶ : مرز کارای سبد با روش میانگین قدر مطلق انحراف (MAD)**

در نمودار (۶) مشاهده می‌شود نماد قثابت دارای بازده ۰/۰۰۳۸۰۴و ریسک ۰/۰۲۱۷۷در راس مرز کارا می باشد. لذا مشاهده می‌شود با افزایش میزان بازده میزان ریسک سبد هم افزایش یافته است.

**حل مدل الگوریتم ازدحام ذرات تحت معیار ریسک CVaR**

وزن هر سهم و میزان بازده و ریسک ۱۰ سبد پیشنهادی مدل مدل الگوریتم ازدحام ذرات تحت معیار ریسک CVaR محاسبه و نتایج آن به شرح جدول (۵) می‌باشد.

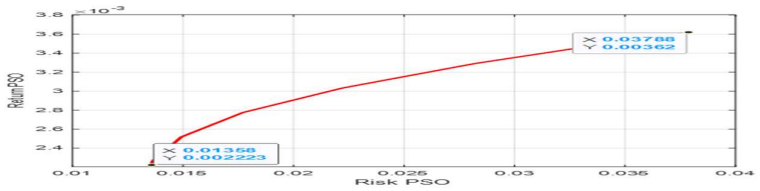
**جدول ۵ : وزن هر سهم با بازده و ریسک ۱۰ سناریو سبد PSO –CVAR**

| scenario | PKOD1 | ZMYD1 | BPAS1 | FOLD1 | MKBT1 | GOLG1 | MSMI1 | PTAP1 | SSEP1 | AZAB1 | FKAS1 | NBEH1 | PFAN1 | GMRO1 | GSBE1 | Risk | Return | Return/Risk |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| ۱ | ۰,۰۰۹۶ | ۰,۰۷۹۵ | ۰,۰۷۷۲ | ۰,۰۳۴۳ | ۰,۰۵۷۴ | ۰,۰۱۱۸ | ۰,۰۷۵۸ | ۰,۱۰۲۱ | ۰,۰۸۳۵ | ۰,۰۴۴۳ | ۰,۱۵۷۲ | ۰,۰۴۶۹ | ۰,۰۵۷۳ | ۰,۰۶۸۶ | ۰,۰۹۴۵ | ۰,۰۱۳۶ | ۰,۰۰۲۲ | ۰,۱۶۳۷ |
| ۲ | ۰,۰۰۵۸ | ۰,۰۸۱۱ | ۰,۰۸۰۷ | ۰,۰۳۳۸ | ۰,۰۶۰۴ | ۰,۰۱۰۹ | ۰,۰۷۵۸ | ۰,۱۰۲۶ | ۰,۰۸۵۰ | ۰,۰۴۴۷ | ۰,۱۴۵۶ | ۰,۰۴۷۸ | ۰,۰۶۴۷ | ۰,۰۶۷۵ | ۰,۰۹۳۶ | ۰,۰۱۳۶ | ۰,۰۰۲۲ | ۰,۱۶۳۳ |
| ۳ | ۰,۰۰۷۹ | ۰,۰۷۷۱ | ۰,۰۷۴۰ | ۰,۰۳۴۹ | ۰,۰۵۸۴ | ۰,۰۱۲۰ | ۰,۰۷۶۰ | ۰,۱۰۲۶ | ۰,۰۸۴۵ | ۰,۰۴۴۸ | ۰,۱۵۶۲ | ۰,۰۴۷۲ | ۰,۰۶۲۶ | ۰,۰۶۷۵ | ۰,۰۹۴۳ | ۰,۰۱۳۶ | ۰,۰۰۲۲ | ۰,۱۶۳۵ |
| ۴ | ۰,۰۰۴۳ | ۰,۰۷۹۹ | ۰,۰۷۰۸ | ۰,۰۳۵۷ | ۰,۰۶۲۶ | ۰,۰۱۰۹ | ۰,۰۷۸۲ | ۰,۱۰۴۰ | ۰,۰۸۵۵ | ۰,۰۴۴۹ | ۰,۱۳۷۳ | ۰,۰۴۷۰ | ۰,۰۵۶۹ | ۰,۰۷۴۶ | ۰,۱۰۷۲ | ۰,۰۱۳۶ | ۰,۰۰۲۳ | ۰,۱۶۶۱ |
| ۵ | ۰,۰۰۳۳ | ۰,۰۷۵۷ | ۰,۰۴۷۵ | ۰,۰۴۰۹ | ۰,۰۶۳۰ | ۰,۰۱۳۷ | ۰,۱۰۴۹ | ۰,۰۳۲۸ | ۰,۰۸۴۵ | ۰,۰۴۸۷ | ۰,۱۰۶۳ | ۰,۰۳۴۲ | ۰,۰۴۶۲ | ۰,۱۲۶۴ | ۰,۱۷۱۹ | ۰,۰۱۴۹ | ۰,۰۰۲۵ | ۰,۱۶۸۷ |
| ۶ | ۰,۰۱۶۰ | ۰,۰۸۷۴ | ۰,۰۰۰۰ | ۰,۰۴۶۴ | ۰,۰۵۹۲ | ۰,۰۲۰۲ | ۰,۱۱۵۵ | ۰,۰۱۲۹ | ۰,۰۸۳۴ | ۰,۰۵۰۹ | ۰,۰۷۳۹ | ۰,۰۰۱۹ | ۰,۰۲۳۷ | ۰,۱۷۵۷ | ۰,۲۳۳۰ | ۰,۰۱۷۷ | ۰,۰۰۲۸ | ۰,۱۵۶۷ |
| ۷ | ۰,۰۵۶۱ | ۰,۰۸۲۴ | ۰,۰۰۱۰ | ۰,۰۲۲۶ | ۰,۰۱۵۵ | ۰,۰۰۸۲ | ۰,۱۴۰۷ | ۰,۰۰۱۰ | ۰,۰۸۰۴ | ۰,۰۵۷۴ | ۰,۰۰۸۱ | ۰,۰۰۰۰ | ۰,۰۰۰۴ | ۰,۲۲۰۷ | ۰,۳۰۵۴ | ۰,۰۲۲۲ | ۰,۰۰۳۰ | ۰,۱۳۶۵ |
| ۸ | ۰,۰۳۸۴ | ۰,۰۲۷۱ | ۰,۰۰۰۴ | ۰,۰۰۱۳ | ۰,۰۰۹۶ | ۰,۰۱۱۵ | ۰,۰۸۴۷ | ۰,۰۰۰۰ | ۰,۰۵۹۰ | ۰,۰۳۸۹ | ۰,۰۰۱۶ | ۰,۰۰۰۰ | ۰,۰۰۰۱ | ۰,۲۶۹۹ | ۰,۴۵۷۵ | ۰,۰۲۸۲ | ۰,۰۰۳۳ | ۰,۱۱۶۷ |
| ۹ | ۰,۰۰۳۸ | ۰,۰۰۶۲ | ۰,۰۰۰۰ | ۰,۰۰۱۴ | ۰,۰۰۴۰ | ۰,۰۰۰۰ | ۰,۰۳۰۲ | ۰,۰۰۱۱ | ۰,۰۱۳۰ | ۰,۰۰۵۲ | ۰,۰۰۰۰ | ۰,۰۰۰۳ | ۰,۰۰۰۰ | ۰,۳۳۹۲ | ۰,۵۹۵۶ | ۰,۰۳۵۶ | ۰,۰۰۳۵ | ۰,۰۹۹۸ |
| ۱۰ | ۰,۰۰۳۳ | ۰,۰۰۰۱ | ۰,۰۰۰۰ | ۰,۰۰۰۰ | ۰,۰۰۱۰ | ۰,۰۰۱۲ | ۰,۰۰۱۶ | ۰,۰۰۰۰ | ۰,۰۰۱۵ | ۰,۰۰۳۵ | ۰,۰۰۱۵ | ۰,۰۰۰۰ | ۰,۰۰۰۱ | ۰,۳۳۳۱ | ۰,۶۵۳۱ | ۰,۰۳۷۹ | ۰,۰۰۳۶ | ۰,۰۹۵۶ |

ماخذ: محاسبات تحقیق

در جدول (۵) نتایج۱۰ سبد پیشنهادی با وزن ایده‌آل برای هر سهم ارائه شده است. پنجمین سبد دارای بازده ۰/۱۶۸۷ می‌باشد که در مقایسه با سایر سبدها دارای بیشترین بازده است.

**نمودار ۷ : مرز کارا سبد با روش PSO -CVAR**




ماخذ: محاسبات تحقیق

در نمودار (۷) مشاهده می‌شود سبد دارای بازده ۰/۰۰۳۶۲ و ریسک ۰/۰۳۷۸۸ در راس مرز کارا می باشد. لذا مشاهده می‌شود با افزایش میزان بازده میزان ریسک سبد هم افزایش یافته است.

**حل مدل الگوریتم ازدحام ذرات تحت معیار ریسک MAD**

وزن هر سهم و میزان بازده و ریسک ۱۰سبد پیشنهادی بر اساس روش ارزش در معرض خطر مشروط محاسبه و نتایج آن به شرح جدول (۶) می‌باشد.

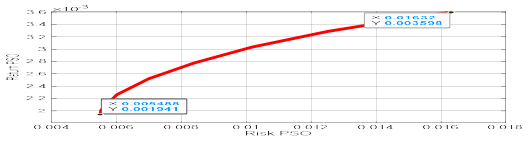
**جدول ۶ : وزن هر سهم و بازده و ریسک ۱۰ سناریو پیشنهادی سبد- الگوریتم ازدحام ذراتPSO- MAD**

| scenario | PKOD1 | ZMYD1 | BPAS1 | FOLD1 | MKBT1 | GOLG1 | MSMI1 | PTAP1 | SSEP1 | AZAB1 | FKAS1 | NBEH1 | PFAN1 | GMRO1 | GSBE1 | Risk | Return | Return/Risk |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| ۱ | ۰,۰۰۵ | ۰,۰۲۱ | ۰,۱۳۲ | ۰,۰۴۹ | ۰,۱۱۳ | ۰,۰۳۸ | ۰,۰۲۵ | ۰,۰۳۷ | ۰,۰۳۳ | ۰,۰۵۳ | ۰,۲۷۳ | ۰,۰۵۸ | ۰,۰۹۵ | ۰,۰۳۵ | ۰,۰۳۲ | ۰,۰۰۵ | ۰,۰۰۲ | ۰,۳۵۴ |
| ۲ | ۰,۰۰۴ | ۰,۰۲۱ | ۰,۱۳۵ | ۰,۰۴۹ | ۰,۱۱۰ | ۰,۰۳۸ | ۰,۰۲۳ | ۰,۰۳۸ | ۰,۰۳۳ | ۰,۰۵۴ | ۰,۲۷۶ | ۰,۰۵۷ | ۰,۰۹۶ | ۰,۰۳۴ | ۰,۰۳۲ | ۰,۰۰۵ | ۰,۰۰۲ | ۰,۳۵۳ |
| ۳ | ۰,۰۱۱ | ۰,۰۲۷ | ۰,۱۲۴ | ۰,۰۵۶ | ۰,۱۱۱ | ۰,۰۴۰ | ۰,۰۳۳ | ۰,۰۳۸ | ۰,۰۳۱ | ۰,۰۵۳ | ۰,۲۲۹ | ۰,۰۶۱ | ۰,۰۹۷ | ۰,۰۴۳ | ۰,۰۴۶ | ۰,۰۰۶ | ۰,۰۰۲ | ۰,۳۶۴ |
| ۴ | ۰,۰۲۲ | ۰,۰۴۹ | ۰,۰۷۰ | ۰,۰۷۲ | ۰,۱۲۷ | ۰,۰۳۹ | ۰,۰۷۴ | ۰,۰۰۷ | ۰,۰۳۶ | ۰,۰۴۹ | ۰,۱۳۳ | ۰,۰۴۷ | ۰,۱۰۰ | ۰,۰۷۹ | ۰,۰۹۵ | ۰,۰۰۶ | ۰,۰۰۲ | ۰,۳۷۵ |
| ۵ | ۰,۰۳۲ | ۰,۰۷۰ | ۰,۰۱۵ | ۰,۰۶۵ | ۰,۱۰۳ | ۰,۰۳۱ | ۰,۱۰۷ | ۰,۰۰۱ | ۰,۰۴۲ | ۰,۰۴۸ | ۰,۱۱۷ | ۰,۰۱۵ | ۰,۰۷۶ | ۰,۱۲۰ | ۰,۱۵۶ | ۰,۰۰۷ | ۰,۰۰۳ | ۰,۳۶۰ |
| ۶ | ۰,۰۶۱ | ۰,۰۷۴ | ۰,۰۰۱ | ۰,۰۴۷ | ۰,۰۷۹ | ۰,۰۲۲ | ۰,۱۶۴ | ۰,۰۰۰ | ۰,۰۵۲ | ۰,۰۴۶ | ۰,۰۴۴ | ۰,۰۰۰ | ۰,۰۳۶ | ۰,۱۵۷ | ۰,۲۱۷ | ۰,۰۰۸ | ۰,۰۰۳ | ۰,۳۳۱ |
| ۷ | ۰,۱۰۱ | ۰,۰۸۸ | ۰,۰۰۰ | ۰,۰۳۴ | ۰,۰۴۴ | ۰,۰۰۷ | ۰,۱۴۵ | ۰,۰۰۲ | ۰,۰۳۰ | ۰,۰۲۷ | ۰,۰۰۴ | ۰,۰۰۱ | ۰,۰۰۰ | ۰,۲۱۷ | ۰,۳۰۰ | ۰,۰۱۰ | ۰,۰۰۳ | ۰,۲۹۸ |
| ۸ | ۰,۱۱۵ | ۰,۰۳۴ | ۰,۰۰۰ | ۰,۰۱۱ | ۰,۰۰۶ | ۰,۰۰۰ | ۰,۰۹۲ | ۰,۰۰۱ | ۰,۰۱۲ | ۰,۰۱۵ | ۰,۰۰۰ | ۰,۰۰۱ | ۰,۰۰۶ | ۰,۲۸۴ | ۰,۴۲۵ | ۰,۰۱۳ | ۰,۰۰۳ | ۰,۲۶۳ |
| ۹ | ۰,۰۳۲ | ۰,۰۰۰ | ۰,۰۰۲ | ۰,۰۰۴ | ۰,۰۰۱ | ۰,۰۰۰ | ۰,۰۰۰ | ۰,۰۰۰ | ۰,۰۰۰ | ۰,۰۰۴ | ۰,۰۰۵ | ۰,۰۰۰ | ۰,۰۰۰ | ۰,۳۹۰ | ۰,۵۶۲ | ۰,۰۱۶ | ۰,۰۰۴ | ۰,۲۲۶ |
| ۱۰ | ۰,۰۰۰ | ۰,۰۰۳ | ۰,۰۰۰ | ۰,۰۰۰ | ۰,۰۰۴ | ۰,۰۰۴ | ۰,۰۰۰ | ۰,۰۰۱ | ۰,۰۰۵ | ۰,۰۰۰ | ۰,۰۰۲ | ۰,۰۰۱ | ۰,۰۰۰ | ۰,۲۱۸ | ۰,۷۶۳ | ۰,۰۱۸ | ۰,۰۰۴ | ۰,۲۰۷ |

ماخذ: محاسبات تحقیق

در جدول (۶) نتایج ۱۰سبد پیشنهادی با وزن ایده‌آل برای هر سهم ارائه شده است. چهارمین سبد دارای بازده ۰/۳۷۵ می‌باشد که در مقایسه با سایر سبدها دارای بیشترین بازده است.

**نمودار ۸ : مرز کارا سبد با روش PSO -MAD**



ماخذ: محاسبات تحقیق

در نمودار (۸) مشاهده می‌شود سبد دارای بازده ۰/۰۰۳۵۹۸ و ریسک ۰/۰۱۶۳۲ در راس مرز کارا می باشد. لذا با افزایش میزان بازده میزان ریسک سبد هم افزایش یافته است..

**جدول ۷ : انتخاب کارآمدترین مدل بهینه ترین سبد سهام**

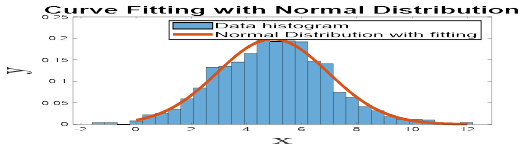
| scenario | PKOD1 | ZMYD1 | BPAS1 | FOLD1 | MKBT1 | GOLG1 | MSMI1 | PTAP1 | SSEP1 | AZAB1 | FKAS1 | NBEH1 | PFAN1 | GMRO1 | GSBE1 | Risk | Return | Return/Risk |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| CVAR | ۰,۰۰۳۵ | ۰,۰۶۲۹ | ۰,۰۵۹۶ | ۰,۰۳۷۳ | ۰,۰۵۷۳ | ۰,۰۲۰۶ | ۰,۰۸۸۲ | ۰,۰۷۰۷ | ۰,۰۸۲۷ | ۰,۰۴۳۸ | ۰,۱۴۶۲ | ۰,۰۴۲۱ | ۰,۰۳۵۳ | ۰,۱۰۳۴ | ۰,۱۴۶۵ | ۰,۰۱۴۰ | ۰,۰۰۲۴ | ۰,۱۷۰۳ |
| MAD | ۰,۰۳۵۲ | ۰,۰۵۰۴ | ۰,۱۳۲۴ | ۰,۰۲۵۸ | ۰,۰۹۱۲ | ۰,۰۲۷۵ | ۰,۰۷۴۵ | ۰,۰۴۱۹ | ۰,۰۳۶۳ | ۰,۰۳۷۱ | ۰,۱۸۰۲ | ۰,۰۱۳۰ | ۰,۰۶۱۱ | ۰,۰۷۸۳ | ۰,۱۱۵۰ | ۰,۰۰۶۹ | ۰,۰۰۲۳ | ۰,۳۲۸۱ |
| PSO-CVAR | ۰,۰۰۳۳ | ۰,۰۷۵۷ | ۰,۰۴۷۵ | ۰,۰۴۰۹ | ۰,۰۶۳۰ | ۰,۰۱۳۷ | ۰,۱۰۴۹ | ۰,۰۳۲۸ | ۰,۰۸۴۵ | ۰,۰۴۸۷ | ۰,۱۰۶۳ | ۰,۰۳۴۲ | ۰,۰۴۶۲ | ۰,۱۲۶۴ | ۰,۱۷۱۹ | ۰,۰۱۴۹ | ۰,۰۰۲۵ | ۰,۱۶۸۷ |
| PSO-MAD | ۰,۰۱۵۲ | ۰,۰۴۳۵ | ۰,۰۹۶۸ | ۰,۰۶۱۰ | ۰,۱۰۷۶ | ۰,۰۴۰۳ | ۰,۰۶۵۲ | ۰,۰۰۷۴ | ۰,۰۳۱۰ | ۰,۰۴۵۵ | ۰,۲۱۸۸ | ۰,۰۴۳۵ | ۰,۰۸۷۳ | ۰,۰۶۲۶ | ۰,۰۷۴۳ | ۰,۰۰۵۷ | ۰,۰۰۲۲ | ۰,۳۷۶۴ |

ماخذ: محاسبات تحقیق

در جدول (۷) نتایج مدل‌های بهینه سازی ارزش در معرض خطر مشروط، میانگین قدر مطلق انحراف و الگوریتم ازدحام ذرات تحت معیارهای ریسک CVaR و MAD با استفاده از نرم‌افزار متلب را نشان می‌دهد. بر اساس داده‌های جدول روش الگوریتم ازدحام ذرات تحت معیارهای ریسک MAD دارای

بیشترین بازده به میزان ۰/۳۷۶۴می‌باشد.

**آزمون نرمال بودن**




ماخذ: محاسبات تحقیق

**نمودار ۹ : توزیع نرمال داده‌های پژوهش**

مشخص شدن نوع توزیع ریسک و بازدهی سبدها برای آزمون نمودن فرضیه‌ها الزامی است. از اینرو ابتدا با استفاده از نرم‌افزار متلب نمودار نرمال دادهای مورد پژوهش مطابق نمودار (۹) ترسیم شد و سپس با استفاده از نرم‌افزا SPSS آزمون کولموگروف-اسمیرنف و شاپیرو-ویلک بر روی ریسک و بازدهی الگوریتم ازدحام ذرات تحت معیار ریسک CVaRوMAD انجام شد. بر اساس داده‌های جدول (۸) بازدهی سبد به روش الگوریتم چند هدفه تحت معیار ریسک بر اساس داده های جدول (۹) ریسک سبد به روش الگوریتم ژنتیک تحت معیار ریسک MAD, CVaR دارای توزیع نرمال است. زیرا سطح معناداری آن نیز کوچکتر از سطح خطای آزمون (۰/۰۵) است.

**جدول ۸ : آزمون نرمال بودن بازده سبد بر اساس آماره کولموگروف-اسمیرنف و شاپیرو-ویلک**

| Tests of Normality | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Return | Kolmogorov-Smirnova | | | Shapiro-Wilk | | |
| | Statistic | Df | Sig. | Statistic | Df | Sig. |
| PSO-CVAR | ۰,۱۶۹ | ۱۰۰ | ۰ | ۰,۸۶۲ | ۱۰۰ | ۰ |
| PSO-MAD | ۰,۱۳۹ | ۱۰۰ | ۰ | ۰,۸۹۶ | ۱۰۰ | ۰ |
| a. Lilliefors Significance Correction | | | | | | |

ماخذ: محاسبات تحقیق

**جدول ۹ : آزمون نرمال بودن ریسک سبد بر اساس آماره کولموگروف-اسمیرنف و شاپیرو-ویلک**

| Tests of Normality | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Risk | Kolmogorov-Smirnova | | | Shapiro-Wilk | | |
| | Statistic | Df | Sig. | Statistic | Df | Sig. |
| PSO-CVAR | ۰,۲۱۴ | ۱۰۰ | ۰,۰۰۰ | ۰,۷۹۲ | ۱۰۰ | ۰,۰۰۰ |
| PSO-MAD | ۰,۱۶۲ | ۱۰۰ | ۰,۰۰۲ | ۰,۹۵۵ | ۱۰۰ | ۰,۰۰۲ |
| a. Lilliefors Significance Correction | | | | | | |

ماخذ: محاسبات تحقیق

## آزمون فرضیه

**آزمون t زوجی بازدهی الگوریتم** ازدحام ذرات تحت معیار ریسکcvar, mad: با توجه به توزیع نرمال بازده سبد برای آزمون فرضیه‌ها از آزمون t زوجی استفاده می شود. تبیین پس آزمایی مدل جهت بررسی بازدهی آنها با استفاده از آزمون مقایسه‌ای t زوجی، بازده مدل الگوریتم ازدحام ذرات تحت معیار ریسک ارزش در معرض خطر مشروط با بازده مدل الگوریتم ازدحام ذرات تحت معیار ریسک میانگین قدر مطلق انحراف با هم مقایسه گردید. نتایج آن به شرح جدول شماره (۱۰) نمایش داده شد.

**جدول ۱۰ : آزمون t زوجی بازدهی الگوریتم ازدحام ذرات تحت معیار ریسکcvar , mad**

| Paired Samples Statistics | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| Return | | Mean | N | Std. Deviation | Std. Error Mean |
| Pair 1 Return | PSO-CVAR | ۰,۰۰۲۷۶۲۲ | ۱۰۰ | ۰,۰۰۰۵۲۸ | ۰,۰۰۰۰۵۲۸۴ |
| | PSO-MAD | ۰,۰۱۱۴۱۸۴ | ۱۰۰ | ۰,۰۰۴۵۹۷ | ۰,۰۰۰۴۵۹۶۷ |

| Paired Samples Correlations | | | | |
|---|---|---|---|---|
| Return | | N | Correlation | Sig. |
| Pair 1 | PSO-CVAR & MAD | ۱۰۰ | ۰,۹۷۶ | ۰,۰۰۰ |

| Paired Samples Test | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Return | | Paired Differences | | | | | t | Df | Sig. (2-tailed) |
| | | Mean | Std. Deviation | Std. Error Mean | 95% Confidence Interval of the Difference | | | | |
| | | | | | Lower | Lower | | | |
| Pair 1 | Return | -۰,۰۰۸۶۵۶ | ۰,۰۰۴۰۸۳۶ | ۰,۰۰۰۴۰۸۴ | -۰,۰۰۹۴۶۶۵ | -۰,۰۰۷۸۴۵۹ | -۲۱,۱۹۸ | ۹۹ | ۰ |

ماخذ: محاسبات تحقیق

با توجه به خروجی جدول شماره (۱۰)، چون سطح معناداری کوچکتر از سطح خطا آزمون، یعنی ۰/۰۵ شده است، فرضیه صفر رد می‌شود. به عبارت دیگر خروجی نشان می‌دهد که تفاوت معناداری میان بازده‌های به دست آمده بر اساس الگوریتم ازدحام ذرات تحت معیار MAD با سایر مدل‌ها وجود دارد.

**آزمون t زوجی ریسک الگوریتم** ازدحام ذرات تحت معیار ریسکcvar, mad: با توجه به توزیع نرمال ریسک سبد برای آزمون فرضیه‌ها از آزمون t زوجی استفاده می‌شود. تبیین پس آزمایی مدل جهت بررسی ریسک آنها با استفاده از آزمون مقایسه‌ای t زوجی ریسک مدل الگوریتم ازدحام ذرات تحت معیار ریسک ارزش در معرض خطر مشروط با ریسک مدل الگوریتم ازدحام ذرات تحت معیار ریسک میانگین قدر مطلق انحراف با هم مقایسه گردید. نتایج آن به شرح جدول شماره (۱۱) می‌باشد.

**جدول (۱۱) آزمون t زوجی ریسک الگوریتم ازدحام ذرات تحت معیار ریسک cvar , mad**

| Paired Samples Statistics | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| Risk | | Mean | N | Std. Deviation | Std. Error Mean |
| Pair 1 Risk | PSO-CVAR | ۰,۰۲۰۹۹۷۲ | ۱۰۰ | ۰,۰۰۹۴۲۴۵۱ | ۰,۰۰۰۹۴۲۴۵ |
| | PSO-MSD | ۰,۰۰۲۸۹۱ | ۱۰۰ | ۰,۰۰۰۵۳۵۴ | ۰,۰۰۰۰۵۳۵۴ |

| Paired Samples Correlations | | | | |
|---|---|---|---|---|
| Risk | | N | Correlation | Sig. |
| Pair 1 | PSO-CVAR & MAD | ۱۰۰ | ۰,۸۹۱ | ۰,۰۰۰ |

| Paired Samples Test | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| RISK | | Paired Differences | | | | | t | Df | Sig. (2-tailed) |
| | | Mean | Std. Deviation | Std. Error Mean | 95% Confidence Interval of the Difference | | | | |
| | | | | | Lower | Upper | | | |
| Pair 1 | Risk | ۰,۰۱۸۱۰۶۲۸ | ۰,۰۰۸۹۵۰۲۴ | ۰,۰۰۰۸۹۵۰۲ | ۰,۰۱۶۳۳۰۳۶ | ۰,۰۱۹۸۸۲۲۱ | ۲۰,۲۳ | ۹۹ | ۰ |

ماخذ: محاسبات تحقیق

با توجه به خروجی جدول شماره (۱۱) چون سطح معناداری کوچکتر از سطح خطا آزمون، یعنی ۰/۰۵ شده است، فرضیه صفر رد می‌شود. به عبارت دیگر خروجی نشان می‌دهد که تفاوت معناداری میان ریسک‌های به دست‌آمده بر اساس الگوریتم ازدحام ذرات تحت معیار MAD با سایر مدل‌ها وجود دارد.

## بحث و نتیجه‌گیری

در این پژوهش بررسی کارآمدی روش‌های بهینه سازی سبد سرمایه‌گذاری با استفاده از روش‌های ارزش در معرض خطر مشروط و میانگین قدر مطلق انحراف مورد بررسی قرار گرفت. سپس با استفاده از مدل الگوریتم ازدحام ذرات تحت معیار ریسک CVaR و MAD مورد آزمون قرار گرفت. پس از اجرای الگوریتم و آزمودن آن مشخص گردید که بازدهی و ریسک مدل الگوریتم ازدحام ذرات تحت معیار ریسک MAD در مقایسه با سایر روشهای دیگر تفاوت معناداری دارند. همچنین مشخص گردید ترکیب سهامی که با الگوریتم ازدحام ذرات تحت معیار ریسک MAD بهینه گردید، دارای بازدهی بیشتر و ریسک کمتر نسبت به سایر روش‌های بهینه سازی است. لذا با در نظر گرفتن این موضوع که در تعیین کارایی، مدلی کارآمدتر است که دارای بازدهی بیشتر و ریسک کمتر باشد، در نتیجه الگوریتم ازدحام ذرات تحت معیار ریسک MAD در تعیین سبد بهینه سهام کارآمدتر است. پیشنهاد می‌شود در پژوهش‌های آتی بهینه سازی سبد سهام با استفاده از روش‌های ارزش در معرض خطر مشروط و میانگین قدر مطلق انحراف با مدل الگوریتم فراابتکاری ژنتیک انجام و نتایج آن با این پژوهش مقایسه شود.

## منابع


۱) راعی رضا و سعیدی علی. مبانی مهندسی مالی و مدیریت ریسک. چاپ هفتم. تهران: نشر سمت؛ ۹۲.

۲) راعی رضا و علی بیکی هدایت. بهینه سازی پرتفوی سهام با استفاده از روش حرکت تجمعی ذرات. تحقیقات مالی، ۱۳۸۹، ۱۲(۲۹)،۲۱-۴۰.

۳) رهنمای رودپشتی فریدون و نیکو مرام هاشم و طلوعی اشلقی عباس و حسین زاده لطفی فرهاد و بیات مرضیه. بررسی کارایی بهینه سازی پرتفوی بر اساس مدل پایدار با بهینه سازی کلاسیک در پیش بینی ریسک و بازده پرتفوی. مهندسی مالی و مدیریت اوراق بهادار,۱۳۹۴، ۶(۲۲), ۲۹-۵۹.

۴) شاه‌حسینی هادی شهریار و موسوی میرکلائی سیدمحمدرضا و ملاجعفری مرتضی. الگوریتم‌های تکاملی مبانی،کاربردها، پیاده‌سازی، چاپ دوم . تهران: انتشارات علم و صنعت، ایران؛ ۱۳۹۶.

۵) کریمی آرزو. بهینه سازی سبدسهام با استفاده از الگوریتم ژنتیک چند هدفه (NSGA II) و ماکزیمم نسبت شارپ. مهندسی مالی و مدیریت اوراق بهادار,۱۴۰۰، ۱۲(۴۶), ۳۸۹-۴۱۰.

۶) مریخ بیات شاهرخ. الگوریتم‌های بهینه سازی الهام گرفته از طبیعت، چاپ دوم. تهران: نشر نص؛ ۹۳.

۷) مولایی محمدعلی و طالبی آرش. بررسی کاربرد الگوریتم ابتکاری- ترکیبی ژنتیک ونلدر- مید در بهینه سازی پرتفوی. دو فصلنامه جستارهای اقتصادی،۱۳۸۹ ،۱۴،۱۷۷.

8) Babat, O., Vara, J. & Zuluaga, L. (2018), Computing Near-Optimal Value at Risk Portfolio Using Integer Programming Techniques, European Journal of Operational Research, 266(1): 304-315.

9) Campbell, R., Huisman, R. & Koedijk, K. (2001), Optimal portfolio selection in a Value-at-Risk framework, Journal of Banking & Finance, vol. 25(9), pp. 1789-1804.

10) Cura Tunchan (2009). Particle swarm optimization approach to portfolio optimization. Nonlinear Analysis: Real World Applications, 10:2396– 2406.

11) H. Konno, H. Yamazaki (1991). Mean-absolute deviation portfolio in optimization model and its application to Tokyo stock market, Management Science 37: 519–531.

12) Maringer, Dietmar G. 2005. Portfolio Management with Heuristic Optimization. https://www.springer.com/gp/book/9780387258522#aboutAuthors

13) Markowitz, H. (1952), Portfolio Selection, Journal of Finance, vol. 7, no. 1, pp. 77-91.

14) Raei, R., Bahrani Jahromi, M .(2012) Portfolio optimization using a hybrid of fuzzy ANP, VIKOR and TOPSIS, Management Science Letters, 2012, 2, P. 2473–2484. Doi: 10.5267/j.msl.2012.07.019.

15) T.G.Willadsen, A.Bebe, R.K-Rasmussen, D. E.Jarbøl.(2016) "The role of diseases, risk factors and symptoms in the definition of multimorbidity–a systematic review"Scandinavian Journal of Primary Health Care Volume 34,PP.1-10. DOI: 10.3109/02813432.2016.1153242
16) Yong, L., Zhang, W, Zhang, P. (2013) "A multi-period portfolio selection optimization model by using interval analysis" Economic Modelling, Volume 33, PP. 113-119

**یادداشت‌ها :**

1-Optimization
2 - Konno and Yamazaki
6- Objective function
4 -Combinatorial Optimization
5 -Continuous Optimization
6 - Gradient
7 - Cura Tunchan
8 - Yong, L., Zhang, W, Zhang, P
9 - Babat, O., Vara, J. & Zuluaga, L