فصلنامه علمی پژوهشی دانش سرمایه‌گذاری
دوره ۱۳ / شماره ٤ (پیاپی ٥٢) / زمستان ١٤٠٣
صفحه ٣٤٧ تا ٣٧٢

بهینه‌سازی دو هدفه سبد پتروشیمی با الگوریتم تکاملی قدرت پارتو (SPEA2) با رویکردهای مختلف در انتخاب سبد

آرزو کریمی
کارشناسی ارشد ریاضی مالی، دانشکده علوم پایه، دانشگاه آیت‌اله بروجردی، بروجرد، ایران. (نویسنده مسئول)
karimiar355@gmail.com

فاطمه زکی پور
دانشجوی دکتری ریاضی کاربردی، دانشکده علوم ریاضی، دانشگاه کاشان، کاشان، ایران.
F.zakipour70@gmail.com

تاریخ دریافت: ۱۳۹۹/۰۹/۲۹ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۰/۱۰/۱۹

چکیده

مسئله انتخاب سبد یک مسئله چند هدفه است؛ بنابراین ضرورت شناخت روش‌های حل مدل‌های انتخاب سبد از اهمیت بالایی برخوردار است. الگوریتم‌های فرا ابتکاری ایده‌های نوینی هستند که در همین راستا معرفی شدند. الگوریتم چند هدفه SPEA2 یکی از الگوریتم‌هایی است که به حل مسئله بهینه‌سازی سبد می‌پردازد. هدف این پژوهش به‌کارگیری الگوریتم چندهدفه SPEA2 در دست‌یابی به ترکیب مطلوبی از اوراق شرکت‌های پتروشیمی در سبد پتروشیمی است. توابع هدف مسئله موردمطالعه شامل دو هدف حداکثر سازی بازده و حداقل سازی ریسک است. نمونه آماری شامل داده‌های ۹۰۰ روز ۱۲ شرکت پتروشیمی مجاز به فعالیت از تاریخ ۹۴/۱۲/۱ تا ۹۸/۱۲/۱۲ است که با انتقال این داده‌ها به نرم‌افزار MATLAB بازده لگاریتمی هر سهم محاسبه‌شده و به‌عنوان ورودی الگوریتم SPEA2 قرارگرفته است. سپس الگوریتم SPEA2 برای هریک از مدل‌های میانگین- واریانس، میانگین- نیم واریانس، میانگین- انحراف مطلق، میانگین- ارزش در معرض خطر مشروط اجراشده و وزن هر سهم و ریسک و بازدهی هر سبد محاسبه‌شده است. سپس با استفاده از نرم‌افزار SPSS به آزمون میانگین تفاوت بین ریسک و بازدهی مدل‌ها پرداخته شد. نتایج نشان می‌دهد که بازدهی به‌دست‌آمده توسط الگوریتم SPEA2 تحت مدل‌های مختلف ریسک ازنظر آماری تفاوت معناداری ندارند؛ اما ریسک سبد به وجود آمده با الگوریتم SPEA2 تحت مدل ارزش در معرض خطر مشروط تفاوت معناداری با سایر معیارهای ریسک دارد و ریسک بیشتری را نشان می‌دهد.

واژه‌های کلیدی: سبد سرمایه، الگوریتم SPEA2، میانگین- واریانس، میانگین- نیم واریانس، میانگین- انحراف مطلق، میانگین- ارزش در معرض خطر مشروط

۱- مقدمه

نماد بازارهای سرمایه، بورس اوراق بهادار است و چگونگی سرمایه‌گذاری در این حیطه نیازمند دانش مدیریتی و اقتصادی است؛ زیرا با حدس و گمان نمی‌توان انتظار موفقیت در این حیطه را داشت. قبل از توسعه مدل‌های جدید سرمایه‌گذاری افراد در پی افزایش سود حاصل از سرمایه‌گذاری بودند و توجهی به ریسک سرمایه‌گذاری نمی‌کردند. مارکوئیتز[1] تئوری انتخاب سبد را معرفی کرد و با پیشنهاد مدلی که علاوه بر بازدهی، ریسک را در سرمایه‌گذاری در نظر می‌گیرد و واریانس به‌عنوان معیار ریسک در نظر گرفته می‌شود تحولی در این عرصه ایجاد نمود. پس از مدل اولیه، مارکوئیتز پیشنهاد نمود نیم واریانس به‌عنوان معیار ریسک در نظر گرفته شود. با توجه به اینکه استفاده از این مدل به‌عنوان اولین و معروف‌ترین مدل بهینه‌سازی سبد در دنیای پرتلاطم کنونی در برآورد نیاز سرمایه‌گذاران برای انتخاب سبد بهینه سرمایه‌گذاری عملکرد مناسبی را از خود نشان نداد؛ محققین با ارائه مدل‌های جدید سعی در رفع این کاستی‌ها کردند. تلاش‌ها برای معرفی معیارهای جدید منجر به معرفی معیار انحراف - مطلق توسط کونو[2] و یامازاکی[3] شد. یکی دیگر از معیارهای توسعه داده‌شده در این زمینه معیار ارزش در معرض خطر مشروط است که حداکثر زیان انتظاری را برای یک سرمایه‌گذار تخمین می‌زند. در تحقیقات پیشین به حل هر یک از این مدل‌ها با روش‌های مرسوم درزمینه‌ی تحقیق در عملیات پرداخته‌شده است؛ درحالی‌که هر یک از این مدل‌ها از برنامه‌ریزی درجه دوم تبعیت می‌کنند که حل هر یک از آن‌ها نیازمند محاسبات پیچیده‌ای است. از طرف دیگر در این تحقیقات مسئله‌ی انتخاب سبد یک مسئله‌ی تک هدفه در نظر گرفته‌شده است؛ درحالی‌که انتخاب سبد یک مسئله تصمیم‌گیری چند هدفه است که باید بهینه شود. این مسئله توسط مدل‌های ریاضی و مسائل تک هدفه قابلیت حل شدن را ندارد؛ چون در بعضی موارد دو یا چند هدفِ کاملاً متضاد باهم موردبررسی قرار می‌گیرد؛ بنابراین لازم است از مدل‌های چند هدفه برای حل این‌گونه مسائل استفاده نمود. روش‌هایی که برای حل برنامه‌ریزی درجه دوم و مسائل بهینه‌سازی چند هدفه به کار گرفته می‌شود روش‌های ابتکاری و فرا ابتکاری هستند. روش‌های ابتکاری که باهدف رفع کاستی‌های روش‌های کلاسیک بهینه‌سازی معرفی شدند با جستجوی جامع و تصادفی احتمال دستیابی به نتایج بهتر را تا حد زیادی تضمین می‌کنند (مرادی محمد، ۱۳۹۶). ازاین‌رو هدف اصلی این پژوهش بهینه‌سازی سبد پتروشیمی تحت دو هدف ماکزیمم بازدهی و مینیم ریسک با بهره‌گیری از الگوریتم چندهدفه SPEA2 است. الگوریتم چند هدفه SPEA2 به‌کاربرده شده در این پژوهش تحت معیارهای میانگین- واریانس، میانگین- نیم واریانس، میانگین- انحراف مطلق، میانگین- ارزش در معرض خطر مشروط است؛ به‌عبارت‌دیگر این پژوهش با دو هدف حداکثر سازی بازده و حداقل سازی ریسک به دنبال آن است که بازدهی و ریسک سبد پتروشیمی را تحت معیارهای مختلف بررسی نماید. همچنین در این پژوهش به مقایسه‌ی معیار ارزش در معرض خطرمشروط با سایر معیارها پرداخته‌شده است؛ زیرا معمولاً سرمایه-گذاران به بعد منفی ریسک توجه دارند و نوسانات منفی را نامطلوب ارزیابی می‌کند. ازاین‌رو این معیار می‌تواند در پیش‌بینی حداکثر زیان کاربرد داشته باشد و با در نظر گرفتن احتمالات مختلف برای حالت‌های مختلف، ریسک

[1] Markowitz
[2] Konno
[3] Yamazaki

را در یک محدوده قابل‌فهم خلاصه کند. نتایج حاصل از این پژوهش حاکی از این است که معیار ارزش در معرض خطر مشروط درازای ماکزیمم بازدهی ریسک بیشتری را نسبت به سایر روش‌ها تخمین می‌زند؛ بنابراین این معیار برای سرمایه‌گذاران با درجه ریسک‌گریزی بالا پیشنهاد می‌شود. در ادامه به شرح هر یک از مدل‌های یادشده و یافته‌های پژوهش پرداخته می‌شود.

۲. مبانی نظری و پیشینه پژوهش

بهینه‌سازی

به دست آوردن بهترین نتیجه ممکن برای یک مسئله با توجه به شرایط حاکم بر آن را بهینه‌سازی گویند. یک مسئله بهینه‌سازی با چهار مؤلفه‌ی زیر مشخص می‌گردد:

الف) مجموعه از متغیرها $x_1, \dots, x_n$ موسوم به متغیرهای بهینه‌سازی یا متغیرهای تصمیم

ب) تابع موسوم به تابع هدف یا تابع معیار که روی متغیرهای تصمیم اعمال می‌شوند و یک متغیر یک مقدار حقیقی را برمی‌گرداند و باید این تابع مینیمم یا ماکزیمم گردد.

ج) مجموعه‌ای از قیدها که روی متغیرهای تصمیم اعمال می‌شوند. این قیود می‌توانند به‌صورت مساوی و غیرمساوی اعمال شوند.

د) مجموعه‌های $D_1, \dots, D_2$ به‌عنوان دامنه متغیرها نوعی قید محسوب می‌گردد که برای شرط دامنه از واژه محدودیت به‌جای قید نیز استفاده می‌شود.

با مشخص بودن چهار مؤلفه فوق مسائل بهینه‌سازی را می‌توان به‌صورت زیر بیان کرد:

$$Minf(x_1, \dots, x_n)$$

$$g_i(x_1, \dots, x_n) \begin{Bmatrix} \leq \\ = \\ \geq \end{Bmatrix} 0 \qquad (1)$$

$$i = 1,2, \dots, m$$

فرم فوق یک فرم استاندارد برای مسائل بهینه‌سازی است (حیرانی، ۱۳۹۶).

بهینه‌سازی چند هدفه

بسیاری از مسائل بهینه‌سازی شامل بهینه‌کردن هم‌زمان چند هدف در حال رقابت و لحاظ کردن قیدهایی است که باید برآورده شوند. برای حل مسائل بهینه‌یابی چندهدفه الگوریتم‌های متعددی توسعه‌یافته‌اند که اغلب آن‌ها مبتنی بر مفهوم جبهه پارتو هستند. برخلاف بهینه‌سازی تک هدفه که در آن جواب بهینه واحد جستجو می‌شود در مسائل چند هدفه به دلیل توازن بین اهداف متضاد جواب بهینه واحدی وجود ندارد و باید چندین جواب بهینه که مجموعه نامغلوب نامیده می‌شوند را جستجو کرد. این موضوع بدان معناست که اگرچه نمی‌توان یک نقطه بهینه را هم‌زمان برای تمامی توابع هدف به دست آورد که بتواند تمام توابع هدف را بهینه نمایند اما می‌توان مجموعه‌ای از پاسخ‌ها را به‌گونه‌ای پیدا نمود که در فضای جستجو از پاسخ‌های دیگر بهتر باشند و این مجموعه پاسخ‌های بهینه پارتو و نقاط دیگر فضای جستجو را مجموعه پاسخ‌های مغلوب می‌نامند (سلیمی، فلاح شمس،

خواجه‌زاده دزفولی، ۱۳۹۹). تفاوت اساسی بهینه‌سازی چند هدفه با بهینه‌سازی تک هدفه در ترتیب ناپذیر بودن فضای دوبعدی است. به‌عبارت‌دیگر اعدادی که در فضای تک‌بعدی هستند را می‌توان با مقایسه و تشخیص بزرگ یا کوچک بودن عدد نسبت به سایر اعداد مرتب کرد ولی در فضای دوبعدی این امکان وجود ندارد.
مفاهیم اساسی بهینه‌سازی چندهدفه عبارت‌اند از (حیرانی میلاد، ۱۳۹۶):

غلبه

بردار $u = (u_1, u_{21}, \dots, u_n)$ بر بردار $v = (v_1, v_2, \dots, v_n)$ غلبه دارد که در فضای اهداف هر دو از نوع حداقل‌سازی هستند و نوشته می‌شود $u < v$ اگر و فقط اگر:

$$\forall i \in \{1,2,\dots,n\}, u_i \leq v_i \wedge \exists i \in \{\{1,2,\dots,n\}: u_i < v_i\} \qquad (2)$$

بهینه پارتو

به $x \in \Omega$ بهینه پارتو گفته می‌شود، اگر وجود نداشته باشد $\acute{x} \in \Omega$ که

$$v = \left(f_1(\acute{x}), f_2(\acute{x}), \dots, f_n(\acute{x})\right) \qquad (3)$$

غلبه کند بر

$$u = \left(f_1(x), f_2(x), \dots, f_n(x)\right) \qquad (4)$$

مجموعه بهینه پارتو

برای مسئله بهینه‌سازی چندهدفه $F(x)$ ،مجموعه بهینه پارتو (P) به شکل زیر تعریف می‌شود:

$$p = \{x \in \Omega | \nexists (\acute{x} \in \Omega) F(\acute{x}) < F(\acute{x})\} \qquad (5)$$

برای یک مسئله بهینه‌سازی چندهدفه،$F(x)$ و مجموعه بهینه پارتو داده‌شده (P)، جبهه پارتو (PF) به شکل زیر قابل‌بیان است:

$$PF = \{F(x) | x \in P\} \qquad (6)$$

روش‌ها هوشمند و تکاملی

در طول دهه‌ی گذشته الگوریتم‌های تکاملی موردتوجه قرارگرفته‌اند، این الگوریتم‌های قدرتمند برای پیش‌بینی و طبقه‌بندی استفاده می‌شوند و کاربردهای روشنی برای استفاده در مدل‌سازی مالی و توسعه دستگاه‌های تجاری دارند. بازارهای مالی نشان‌دهنده محیطی پیچیده و همیشه در حال تغییر است، محیطی که در آن سرمایه‌گذاران در حال رقابت برای کسب سود هستند. موجودات زیست‌محیطی به مدت طولانی در چنین محیط‌هایی زندگی کردند و برای به‌دست آوردن منابع لازم به‌منظور کسب حصول اطمینان از بقای خود رقابت کردند. این امری طبیعی است که فعالان بازارهای مالی برای حفظ بقا در این محیط (بازارمالی) به سمت الگوریتم‌هایی که از فرایندهای زیستی الهام گرفته‌شده‌اند روی بیاورند. در مباحث مالی مانند ورشکستگی، درماندگی مالی، انتخاب بهینه پرتفوی، شاخص قیمت سهام، ریسک اعتباری بانک‌ها از روش‌های ابتکاری و فرا ابتکاری استفاده می‌شود (قاسمی جمال، فرزاد سروه، ۱۳۹۸). روش‌های هوشمند و تکاملی روش‌هایی هستند که مسئله بهینه‌سازی چند هدفه را یک‌بار و به‌صورت یک مسئله چند هدفه حل می‌کنند؛ بنابراین نیازی به چندین بار بهینه‌سازی ندارند و با یک‌بار انجام دادن فرایند بهینه‌سازی به یک مجموعه جواب همگرا می‌شوند این روش‌ها نسبت به روش‌های تک

هدفه روش‌های پیچیده‌ای هستند. روش‌های تکاملی از دو قسمت مهم تشکیل‌شده‌اند که اولی موتور جستجوی است که می‌تواند هر روش بهینه‌سازی فراکاوشی باشد و دومی بلوک سازنده است که وظیفه آن تولید نسل جدید از جواب‌های نامغلوب و انتقال آن‌ها برای تکرار بعدی در فرآیند بهینه‌سازی است؛ البته قابل‌ذکر است که الگوریتم بهینه‌سازی فرا کاوشی به‌کاررفته در موتور جستجو نیاز به تغییر اساسی با توجه به مفاهیم بهینه‌سازی چند هدفه دارد (حیرانی میلاد، ۱۳۹۶).

بازده

بازده عایدی است که یک سهم در یک فاصله زمانی معین نصیب دارنده آن می‌نماید. بازده در فرآیند سرمایه‌گذاری نیرو محرکی است که ایجاد انگیزه می‌کند و پاداشی برای سرمایه‌گذاران محسوب می‌شود. بازده ناشی از سرمایه‌گذاری برای سرمایه‌گذاران حائز اهمیت است؛ زیرا تمامی بازی سرمایه‌گذاری به‌منظور کسب بازده صورت می‌گیرد. یک ارزیابی از بازده تنها راه منطقی (قبل از ارزیابی ریسک) است که سرمایه‌گذاران می‌توانند برای مقایسه سرمایه‌گذاری‌های جایگزین و متفاوت از هم انجام دهند. برای درک بهتر عملکرد سرمایه‌گذاری اندازه‌گیری بازده واقعی (مربوط به گذشته) لازم است (تهرانی رضا، نوربخش عسگر ۱۳۸۹). برای اندازه‌گیری بازده در این پژوهش از بازده مورد انتظار استفاده‌شده است.

بازده مورد انتظار

بازده مورد انتظار عبارت است از بازده تاریخی یک دارایی که سرمایه‌گذاران انتظار دارند در یک دوره در آینده به‌دست آورند. بازده مورد انتظار با استفاده از رابطه زیر محاسبه می‌شود (تهرانی رضا، نوربخش عسگر ۱۳۸۹):

$$ER_i = \sum_{i=1}^{n} X_i P(X_i) \qquad (7)$$

که در آن،

ER_i: بازده مورد انتظار توزیع برای اوراق بهادار i ام

X_i: ارزش پیامد ممکن i ام

$P(X_i)$: احتمال پیامد i ام

n: تعداد پیامدهای ممکن

ریسک

ریسک معمولاً با پراکندگی بازده آتی مرتبط است و پراکندگی به تغییرپذیری اشاره دارد. فرض بر این است که ریسک باعث افزایش تغییرپذیری و پراکندگی می‌شود و این عبارت است از تفاوت میان بازده واقعی یک سرمایه‌گذاری با بازده مورد انتظار آن. درواقع اگر بازده یک دارایی پراکندگی و تغییرپذیری نداشته باشد آن دارایی بدون ریسک خواهد بود (تهرانی رضا، نوربخش عسگر ۱۳۸۹).

معیارهای ریسک

برای کمی‌سازی و اندازه‌گیری مفهوم ریسک در سرمایه‌گذاری معیارهای متفاوتی تعریف و به‌کاربرده شده است. در دسته‌بندی کلی می‌توان این معیارها را به سه گروه زیر تفکیک کرد (تهرانی، فلاح تفتی، آصفی، ۱۳۹۷):

معیارهای ریسک مرتبط با میزان نوسان: این دسته از معیارها بر پایه این تعریف از ریسک بناشده‌اند که ریسک میزان نوسان در اطراف میانگین بازدهی است. واریانس و انحراف معیار متداول‌ترین این معیارها هستند.

معیارهای ریسک مرتبط با حساسیت: این معیارها میزان تغییر متغیر وابسته در اثر تغییر متغیر مستقل را اندازه‌گیری می‌کنند. ضریب بتا و دیرش از مهم‌ترین معیارهای این دسته هستند.

معیارهای ریسک نامطلوب: ازآنجاکه تمام نوسان‌ها حول میانگین به ضرر سرمایه‌گذار نیستند، این دسته از معیارها تنها نوسان‌های مخرب (زیر سطح میانگین) را در نظر می‌گیرند. نیم واریانس، نیم انحراف معیار و ارزش در معرض ریسک مهم‌ترین این معیارها شناخته‌شده‌اند.

در این پژوهش از چهار معیار مختلف برای اندازه‌گیری ریسک استفاده خواهد شد که شامل واریانس، نیم واریانس، انحراف مطلق از میانگین و ارزش در معرض ریسک مشروط است. هریک از این معیارها به شرح زیر می‌باشند:

واریانس

ازلحاظ آماری، واریانس پراکندگی بازده یک دارایی حول مقدار مورد انتظار آن را مشخص می‌کند. هرچه پراکندگی بازده بیشتر باشد واریانس (ریسک) آن بیشتر است. واریانس هریک از دارایی‌ها با استفاده از فرمول زیر محاسبه می‌شود:

$$Var = E[(R_i - \mu_i)^2] \qquad (8)$$

R_i: بازده دارایی و μ_i: میانگین بازده دارایی i

نیم واریانس

نیم واریانس تنها بازدهی‌های تصادفی با میانگین بازده پایین را در محاسبه ریسک مورداستفاده قرار می‌دهد. لذا در محاسبه ریسک در مواقعی که مقدار بازده تصادفی از بازده مورد انتظار بیشتر است مقدار صفر جایگزین تفاوت آن دو می‌شود. نیم واریانس به‌صورت زیر فرمول‌بندی می‌شود:

$$Semi\ Var = E\{\min[R_i - \mu_i, 0]^2\} \qquad (9)$$

R_i: بازده دارایی و μ_i: میانگین بازده دارایی i

انحراف مطلق

تفاضل کوچک‌ترین و بزرگ‌ترین بازدهی دارایی موردمطالعه را دامنه تغییرات می‌گویند که به‌صورت زیر محاسبه می‌شود:

$$R = r_{max} - r_{min} \qquad (10)$$

ازآنجاکه دامنه تغییرات تنها به دو عضو از مجموعه دارایی‌ها توجه دارد؛ یک تقریب با دقت پایین از پراکندگی را محاسبه می‌کند. ازاین‌رو معیار دیگری لازم است که علاوه بر احتساب پراکندگی کلیه دارایی‌ها را در برگیرد. بدین منظور ابتدا انحراف تک‌تک دارایی‌ها به‌صورت زیر محاسبه می‌شود:

$$D_i = r_i - \bar{r} \qquad (11)$$

سپس برای اینکه تمام دارایی‌ها در نظر گرفته شوند خواهیم داشت:

$$MAD = \frac{\sum_{i=1}^{n} |r_i - \bar{r}|}{n} \qquad (12)$$

ازآنجاکه در این معیار از علامت قدر مطلق استفاده می‌شود (استفاده از علامت قدر مطلق باعث می‌شود اعداد منفی و مثبت همدیگر را خنثی نکنند و صورت کسر صفر نشود.) نرخ بازدهی‌های منفی به مثبت تبدیل می‌شود؛ بنابراین این معیار میزان پراکندگی را کمتر از واقعیت نشان می‌دهد.

ارزش در معرض خطر مشروط

معیار ارزش در معرض خطر مشروط از معیار ارزش در معرض خطر به دست می‌آید. این معیار معادل با امید ریاضی مقادیری است که بیش از مقدار ارزش در معرض خطر تخمین زده‌شده باشد. اگر R دنباله‌ای از بازدهی سبد دارایی‌ها باشد که بیش از مقدار ارزش در معرض خطر تخمین زده‌شده است؛ آنگاه معیار ارزش در معرض خطر مشروط به‌صورت زیر برآورد می‌شود:

$$CVaR(\alpha) = E(R|R \geq VaR_\alpha) \qquad (13)$$

سبد سرمایه‌گذاری

دو مؤلفه مهم در تصمیم‌گیری برای سرمایه‌گذاری، میزان ریسک و بازده دارایی‌های سرمایه‌ای است. اغلب سرمایه‌گذاران به دنبال حداکثر نمودن بازدهی خود در سطح معینی از ریسک و یا کمینه نمودن ریسک در سطح معینی از بازده هستند. با تشکیل سبدی از دارایی‌های مالی این امکان به وجود می‌آید که در سطح معینی از بازده ریسک را کاهش داد. این امکان به دلیل نبود همبستگی کامل بین بازده دارایی‌های مالی مختلف به وجود می‌آید. ایده اساسی نظریه مدرن پرتفوی این است که اگر در دارایی‌هایی که به‌طور کامل باهم همبستگی ندارند سرمایه‌گذاری شود، ریسک آن دارایی‌ها یکدیگر را خنثی کرده؛ بنابراین می‌توان یک بازده ثابت را با ریسک کمتر به‌دست آورد. به عبارت دیگر بهینه‌سازی پرتفوی عبارت از انتخاب بهترین ترکیب از دارایی‌های مالی به‌نحوی‌که باعث شود تا حد ممکن، بازده پرتفوی سرمایه‌گذاری حداکثر و ریسک پرتفوی حداقل شود. (اصغرپور حسین، رضازاده علی، ۱۳۹۴).

مدل‌های انتخاب سبد

در این پژوهش از چهار مدل مختلف در انتخاب سبد پتروشیمی استفاده‌شده است. مدل‌های مورداستفاده در این پژوهش دارای دو تابع هدف می‌باشند که تابع هدف اول شامل حداکثر سازی بازده و تابع هدف دوم شامل مینیمم سازی ریسک است. هریک از این مدل‌ها به شرح زیر می‌باشند:

مدل میانگین- واریانس (MV) دو هدفه

هری مارکوئیتز در سال ۱۹۵۲ مدل مشهور خود را عرضه کرد که مبنایی برای تئوری مدرن پرتفوی و سرلوحه بسیاری از محققان قرار گرفت. مدل مارکوئیتز بر اساس بازده مورد انتظار و ریسک اوراق بهادار و متنوع‌سازی سبد اوراق بهادار بنانهاده شده است. روش میانگین- واریانس استاندار مارکوئیتز برای انتخاب سبد سهام اقدام به رهگیری یک مرز کارا می‌نماید. این مرز منحنی پیوسته‌ای است که مبادله میان بازده و ریسک سبد سهام را نشان می‌دهد. مدل میانگین- واریانس دو هدفه به‌صورت زیر تعریف می‌شود:

$$\begin{aligned} &Max \sum_{i=1}^{n} r_i x_i \\ &Min \ \sum_{i=1}^{n}\sum_{j=1}^{n} \sigma_{ij} x_i x_j \\ &s.t \quad \sum_{i=1}^{n} x_i = 1 \\ &x_i \geq 0 \quad i = 1, \dots, n \end{aligned} \qquad (14)$$

که در آن

n: تعداد دارایی‌ها، x: وزن دارایی i و j ، r_i: بازده مورد انتظار دارایی i ام، σ_{ij}: کوواریانس بین دارایی i و j، m_0: سطح مشخصی از بازدهی

مدل میانگین- نیم واریانس (MSV) دو هدفه

معیار واریانس برای یک دارایی که دارای توزیع نرمال است و در بازاری کارا معامله می‌شود معیار قابل قبولی است. اگر این دو خصوصیت برای یک دارایی وجود نداشته باشد استفاده از واریانس با مشکل روبه‌رو می‌شود. ازاین‌رو معیار دیگری برای ریسک مطرح می‌شود که نیمه واریانس از آن جمله است. فرمول نیم- واریانس به‌صورت زیر مطرح می‌گردد (گرگز، عباسی، مقدسی، ۱۳۸۹):

$$Semi\ Var = E\{min[R_i - \mu_i, 0]^2\} \qquad (15)$$

که در آن

R_i: بازده دارایی i ، μ_i: میانگین بازده دارایی i، E: عملگر امید ریاضی

بر این اساس مدل میانگین- نیم واریانس دو هدفه به‌صورت زیر تعریف می‌شود:

$$\begin{aligned} &Max \sum_{i=1}^{n} r_i x_i \\ &Min \ \sum_{i=1}^{n}\sum_{j=1}^{n} x_i x_j \, E\{min[R_i - \mu_i, 0]^2\} \\ &s.t \quad \sum_{i=1}^{n} x_i = 1 \\ &x_i \geq 0 \quad i = 1, \dots, n \end{aligned} \qquad (16)$$

میانگین- انحراف مطلق (MAD) دو هدفه

این مدل توسط کونو و یامازاکی ارائه‌شده است. در این مدل از انحراف مطلق از میانگین به‌عنوان معیار ریسک استفاده می‌شود که به‌صورت زیر تعریف می‌شود:

$$MAD = \frac{\sum_{i=1}^{n}|r_i - \bar{r}|}{n} \qquad (17)$$

با قرار دادن انحراف مطلق به‌جای واریانس در مدل مارکوئیتز یک برنامه‌ریزی خطی دو هدفه به شرح زیر حاصل می‌شود:

$$\begin{aligned} &Max \sum_{i=1}^{n} r_i x_i \\ &Min \quad \frac{1}{T}\sum_{t=1}^{T}|\sum_{i=1}^{n}(r_{it} - r_i)x_i| \\ &s.t \qquad \sum_{i=1}^{n} x_i = 1 \qquad (11) \\ &x_i \geq 0 \quad i = 1, \dots, n \end{aligned}$$

که در آن

m_0: سطح مشخصی از بازدهی، r_{it}: بازدهی سهم i ام در دوره t ام است.

از این مدل در شرایطی که تعداد دارایی‌ها بیشتر از طول دوره است می‌توان استفاده نمود، زیرا در این مدل بدون نیاز به محاسبه ماتریس کوواریانس پرتفوی بهینه تعیین می‌شود.

میانگین- ارزش در معرض خطر مشروط (CVaR) دو هدفه

ارزش در معرض خطر مشروط، زیان انتظاری در یک سطح اطمینان تعیین‌شده را برآورده می‌کند. استفاده از ارزش در معرض خطر مشروط، باعث می‌شود که مدل انتخاب سبد سهام به یک مدل برنامه‌ریزی خطی تبدیل شود. مدل $(CVaR)$ که توسط کانداسمی[1] ارائه‌شده است، به‌صورت زیر است:

اگر $f(x, \varepsilon)$ تابع زیان یک سبد سهام باشد و α یک سطح اطمینان باشد، در این صورت $CVaR$ متوسط $(1 - \alpha)$ درصد زیان‌هاست.

$$CVaR_\alpha(x, \eta) = \eta + (1 - \alpha)^{-1} \int_{\varepsilon \varepsilon R^\alpha} [f(x, \varepsilon) - \eta]^+ p(\varepsilon) d\varepsilon \qquad (18)$$

η : VaR

ε : متغیر تصادفی

$Z^+ = max\ (Z, 0)$

مدل میانگین- ارزش در معرض خطر مشروط، به کمک یک مسئله برنامه‌ریزی خطی دو هدفه به‌صورت زیر فرمول‌بندی می‌شود:

$$\begin{aligned} &Max \sum_{i=1}^{n} r_i x_i \\ &Min\, \eta + \frac{1}{(1-\alpha)}\sum_{i=1}^{N}(y_i) \\ &s.t \qquad y_i \geq \sum_{j=1}^{n}\left[\left(-r_{ij}\right) - \eta\right] \qquad i = 1,2,3, \dots s \qquad (19) \\ &\qquad\quad y_i \geq 0 \qquad\qquad i = 1,2,3, \dots, s \end{aligned}$$

[1] Kandasamy

$$\sum_{j=1}^{n} x_j = 1$$
$$x \geq 0$$

که در آن r_{ij} بازده سهم i آم در دوره j ام، x_j درصد سرمایه‌گذاری در سهم j ام، E_0 حداقل بازده مورد انتظار و μ میانگین بازده مورد انتظاری در سهم j ام است.

پیشینه پژوهش

پولس[1] و ممانیز[2] (۲۰۰۹) از سه الگوریتم بهینه‌سازی تکاملی چند هدفه شامل NSGAII، PESA، SPEAII، برای حل مسئله‌ی بهینه‌سازی سبد سرمایه استفاده کردند و معیار واریانس را در مدل میانگین- واریانس با معیارهای VaR و CVaR جایگزین کردند. نتایج این پژوهش نشان داد با به‌کارگیری مدل میانگین- واریانس تمام الگوریتم‌های یادشده تخمین بسیار نزدیکی به سطح بهینه پارتو دارند. همچنین الگوریتم PESA بهترین عملکرد را ازنظر همگرایی به سطح بهینه پارتو دارد و الگوریتم SPEAII بهترین پاسخ‌ها را ازنظر گستردگی می‌دهد.

هاو[3] و لیو[4] (۲۰۰۹) در تحقیقی با عنوان «مدل‌های میانگین- واریانس برای انتخاب سبد سهام با بازده‌های تصادفی- فازی» الگوریتم ژنتیک را به‌عنوان ابزار حل مدل‌های خود به کاربردند. برای حل مدل‌های انتخاب سبد سهام معرفی‌شده‌ی این تحقیق در ابتدا فرمول‌های واریانس را برای مدل‌های معرفی‌شده به‌گونه‌ای مورداستفاده قرار داد که مسائل انتخاب سبد سهام اصلی به برنامه‌ریزی‌های خطی هم‌ارز تبدیل شوند؛ سپس الگوریتم‌های ژنتیک برای حل مدل‌ها به کار گرفته شدند. درنهایت نیز دو نمونه عددی برای نشان دادن کارایی روش‌های معرفی‌شده به کار رفت.

برمودز[5] و گومز[6] (۲۰۱۲) از الگوریتم ژنتیک برای حل مدل میانگین- نیم واریانس پرتفوی با بهره‌گیری از منطق فازی و وجود محدودیت کاردینالیتی استفاده کردند و در آن برای در نظر گرفتن عدم قطعیت داده‌ها از اعداد فازی ذوزنقه‌ای بهره گرفتند.

سونگ[7] و لانگ[8] و لنگ[9] (۲۰۱۴) با استفاده از الگوریتم SPEAII و الگوریتم NSGAII به بهینه‌سازی سبد شرکت‌های تولید برق با استفاده از معیار ریسک میانگین- واریانس چولگی پرداختند. آن‌ها با در نظرگرفتن چهار هدف ماکزیمم بازدهی، مینیمم واریانس، ماکزیمم چولگی و مینیمم اختلاف بین بالاترین و کمترین میزان سرمایه- گذاری، به مدل‌سازی سبد سرمایه‌گذاری پرداختند. نتایج آن‌ها بیان می‌کند که هدف چهارم(مینیمم اختلاف بین بالاترین و کمترین میزان سرمایه‌گذاری) سود حاصل از سرمایه‌گذاری در شرکت‌های تولید برق را افزایش می‌دهد.

[1] Anagnostopoulos
[2] Mamanis
[3] Hao
[4] Liu
[5] Bermods
[6] Gomez
[7] Suksonghong
[8] Boonlong
[9] Leng Goh

فکری و همکاران (۲۰۱۶) با در نظر گرفتن سه هدفِ افزایش بازدهی، کاهش انتظارات سرمایه‌گذاران و کاهش میانگین-واریانس به بهینه‌سازی سبد برای بانک‌های ایرانی پرداختند. آنها مدل پیشنهادی را با الگوریتم الکترومغنانیس(MOEM) حل نمودند و به مقایسه‌ی آن با الگوریتم NSGAII و SPEAII پرداختند. نتایج آن‌ها برتری الگوریتم الکترومغناطیس(MOEM) را نسبت به دو الگوریتم مذکور نشان می‌دهد.

لوباتو[1] و گودین[2] و آلوز[3] (۲۰۱۷) با استفاده از معیار ریسک نیم- واریانس به بهینه‌سازی سبد پرداختند. آن‌ها از دو الگوریتم NSGAII و SPEAII برای حل مدل خویش استفاده نمودند. نتایج پژوهش آن‌ها نشان می‌دهد که مرز کارای الگوریتم NSGAII گسترده‌تر از مرزکارای الگوریتم SPEAII است. از این رو این الگوریتم پیشنهادهای بیشتری برای سرمایه‌گذاران دارد.

جاگ[4] و آتمک[5] (۲۰۱۷) با استفاده از معیارهای میانگین-واریانس و میانگین-نیم واریانس به بهینه‌سازی سبد انرژی در بازار مالی ترکیه پرداختند. نتایج این پژوهش نشان می‌دهد که سطحِ ریسک‌گریزی سرمایه‌گذاران بر روی جواب‌های بهینه تأثیر گذار است. آن‌ها دریافتند که سطح پایین ریسک‌گریزی باعث تنوع در راه‌حل‌ها می‌شود و با افزایش سطح ریسک‌گریزی تنوع کاهش می‌یابد.

بابا زاده و اصفهانی پور (۲۰۱۹) در تحقیقی به بهینه‌سازی پرتفوی با ریسک میانگین ارزش در معرض خطر چند دوره‌ای و محدودیت‌های عملی و هزینه معاملاتی پرداختند. در این پژوهش VaR با استفاده ازEVT تخمین زده می‌شود. همچنین محدودیت‌های کاردینالی بودجه، کف و سقف برای مدل در نظر گرفته می‌شود، سپس به حل مدل با الگوریتم ژنتیک چند هدفه پرداخته می‌شود. نتایج حاصل از به‌کارگیری مدل بر روی شاخص S&P100 نشان می‌دهد که الگوریتم به‌کاررفته در این پژوهش جواب بهتری نسبت به الگوریتم‌های NSPSO ، SPEAII و NSACO به دست می‌آورد.

هانجرا[6] و همکاران(۲۰۲۰) با استفاده از سه معیار MSV، MAD و CVaR به بهینه‌سازی سبد شرکت‌های موجود در بورس ۴ کشور در حال توسعه‌ی پاکستان، هند و بنگلادش پرداختند. آن‌ها سه سناریوی بحران، بهبود و رشد را برای مدل‌سازی در نظر گرفتند. آن‌ها در یافتند که مدل CVaR در هر سناریو جواب بهتری نسبت به سایر مدل‌ها ارائه می‌دهد و عملکرد مطلوب‌تری دارد. همچنین آن‌ها نشان دادند هر سهم در هر سناریو عملکرد متفاوتی دارد.

شریعت پناهی و عبادی و پیمانی (۱۳۹۰) از ۴ معیار ریسک انحراف معیار، انحراف مطلق از میانگین، نیم-انحراف معیار و ارزش در معرض خطر در مدل بهینه‌سازی پرتفوی استفاده نمودند و به بررسی قدرت پیش‌بینی هر یک از این معیارها در افق‌های زمانی یک، دو و سه‌ماهه پرداختند. نتایج نشان داد معیارهای نیم- انحراف معیار و ارزش در معرض خطر از قدرت پیش‌بینی بالاتری برخوردارند.

[1] Lobato
[2] Godinho
[3] Alves
[4] Gökgöz
[5] Atmaca
[6] Hunjra et al

نبوی چاشمی و داداش‌پور (۱۳۹۱) در مقاله‌ای تحت عنوان «انتخاب سبد سهام چند هدفه تحت محدودیت احتمالی در بستر بازار سرمایه ایران» به بررسی بازار سرمایه ایران پرداخته و با ارائه مدل ریاضی چند هدفه به‌صورت تک زمانه به همراه محدودیت احتمالی برای اندازه‌گیری ریسک سبد سهام پرداخته‌اند که با ترکیب سنجه بازده با دو سنجه ریسک یعنی نیم- واریانس و انحراف مطلق این امکان را فراهم می‌آورد تا سرمایه‌گذاران بتوانند با در نظر درگرفتن محدودیت‌های مرتبط با هزینه‌های معاملاتی ریسک سبد سهام موردنظرشان را با دقت اندازه‌گیری کنند تا به سبد سهامی با بیشترین بازده و کمترین ریسک دست یابند.

کیانی و نبوی و معماریانی (۱۳۹۳) به حل مدل میانگین-واریانس با استفاده از الگوریتم ژنتیک پرداختند. آن‌ها با استفاده از ۲۵ سهم از بورس اوراق بهادار تهران نشان دادند که مرزکارای بهینه به‌دست آمده با استفاده از الگوریتم ژنتیک با مرزکارای حاصل از روش دقیق برابر است. همچنین تنوع سهام در سبدهایی با تابع ریسک غیرسیستماتیک بسیار بیشتر از سبدهایی با تابع ریسک سیستماتیک است.

مروتی و عزیزی و احمدی (۱۳۹۴) در مقاله‌ای تحت عنوان « به‌کارگیری الگوریتم رقابت استعماری در بهینه- سازی و تشکیل پرتفولیو» به انتخاب سبد بهینه پرداختند. آن‌ها در این پژوهش از معیار ریسک میانگین- واریانس استفاده کردند. نتایج نشان می‌دهد که الگوریتم رقابت استعماری در تشکیل پرتفوی سهام به‌گونه‌ای موفق عمل می‌کند (شریف آبادی و همکاران، ۱۳۹۴).

موشخیان و نجفی (۱۳۹۴) ابتدا مدلی تحت عنوان مدل بهینه‌سازی سبد سرمایه‌گذاری چند دوره‌ای احتمالی میانگین- نیم واریانس- چولگی با در نظر گرفتن هزینه معاملاتی را ارائه کردند ازآنجاکه حل سرمایه‌گذاری چند دوره‌ای به خاطر غیرخطی بودن مسئله بسیار دشوار است آن‌ها پس از مدل‌سازی مسئله با استفاده از الگوریتم بهینه‌سازی ازدحام ذرات چند هدفه و تک هدفه اقدام به حل مدل ارائه‌شده کردند. نتایج نشان می‌دهد که الگوریتم PSO چند هدفه نتایج بهتری نسبت به الگوریتم PSO تک هدفه ایجاد می‌کند.

شاهمرادی و صلاحی و لطفی (۱۳۹۴) از مدل میانگین- انحراف مطلق برای انتخاب سبد سهام بهینه استفاده کردند. آن‌ها ابتدا یک مدل استوار بهبودیافته برای مدل میانگین- انحراف مطلق ارائه کردند، سپس با معرفی مجموعه عدم قطعیت همبسته، همتای استوار مدل میانگین- انحراف مطلق تحت این مجموعه عدم قطعیت را ارائه کردند. سپس عملکرد دو مدل میانگین- انحراف مطلق بهبودیافته و همبسته را موردبررسی قراردادند. نتایج استفاده از دو مدل بهبودیافته و همبسته نشان داد که وقتی بین ضرایب غیرقطعی همبستگی قابل‌توجهی وجود داشته باشد مدل استوار همبسته در مقایسه با مدل استوار بهبودیافته جواب‌های بهتری خواهد داشت.

محمد مرادی (۱۳۹۶) به بهینه‌سازی سبد با الگوریتم چرخه آب تحت معیار ریسک میانگین- واریانس پرداخت. وی این الگوریتم را با الگوریتم چندهدفه ژنتیک و پرندگان مقایسه کرد و با استفاده از ۴ معیار عملکرد شامل فاصله، یکنواختی، تنوع و پوشش نشان داد که الگوریتم چندهدفه چرخه آب کارآمدی بیشتری نسبت به دو الگوریتم ژنتیک و پرندگان دارد.

دیده خانی و همکاران (۱۳۹۸) در مقاله‌ای تحت عنوان «توسعه مدل بهینه‌سازی پرتفوی میانگین- انحراف مطلق (MAD) با رویکرد عدم قطعیت ترکیبی تصادفی- فازی و در نظر گرفتن نگرش سرمایه‌گذاران به ریسک»

یک مدل ریاضی کارآمد جهت انتخاب سبد سهام ارائه کردند. آن‌ها این مدل را با استفاده از الگوریتم ژنتیک حل نمودند، سپس جواب‌های بهینه را با توجه به ریسک گریزی یا ریسک‌پذیری سرمایه‌گذاران استخراج کردند. نتایج نشان می‌دهد سرمایه‌گذار ریسک گریز به سهامی که MAD بیشتری دارد وزن کمتر و به سهامی که MAD کم‌تری دارد وزن بیشتری اختصاص می‌دهد.

اقبال نیا و دلیران (۱۳۹۸) مدل میانگین-نیمه انحراف مطلق را با استفاده از الگوریتم جستجوی ناخودآگاه حل نمودند. آن‌ها با استفاده از ۵۰ سهم از شرکت‌های برتر بورس تهران کارایی این الگوریتم را نسبت به الگوریتم ازدحام ذرات و ژنتیک نشان دادند.

سینا و فلاح (۱۳۹۹) به مقایسه عملکرد مدل‌های ارزش در معرض ریسک و کاپولا-CVaR در بهینه‌سازی سبد پرداختند. برای تخمین ارزش در معرض ریسک از رویکرد واریانس- کوواریانس استفاده شد و ارزش در معرض ریسک شرطی با استفاده از نظریه کاپولا برآورد شد. نتایج این پژوهش حاکی از آن است که تشکیل سبد سهام بهینه با استفاده از رویکرد ترکیبی Capula-CVaR عملکرد بهتری از روش ارزش در معرض ریسک دارد.

۳. مدل پژوهش

الگوریتم (SPEA)

نسخه اولیه (SPEA) به‌طور منظم از جمعیت و آرشیوی استفاده می‌کند. شروع اولیه این الگوریتم با یک جمعیت اولیه و آرشیو خالی است که به‌طور منظم و متناوب مراحل زیر را تکرار می‌نماید.

ابتدا همه اعضای نامغلوب جمعیت رونوشت می‌شوند که در طول به‌روزرسانی آرشیو افراد مغلوب یا تکراری از آن حذف می‌شوند اگر اندازه آرشیو به‌روز شده بیش از حد تعریف‌شده باشد، اعضای اضافی آرشیو با روش خوشه‌ای حذف می‌شوند در این صورت خصوصیات جبهه نامغلوب نیز حفظ می‌شود. پس‌ازآن ارزش‌های برازندگی به هردو آرشیو و اعضای جمعیت اختصاص داده می‌شود.

هر فرد i در آرشیو یک ارزش به دست می‌آورد$S(i) \in [0,1)$ که در همان زمان نشان‌دهنده ارزش برازندگی آن است $F(i)$.

$S(i)$ تعداد اعضای جمعیت نامغلوب بر اندازه جمعیت به‌علاوه یک تقسیم می‌شود.

برازندگی $F(i)$ یک فرد i در جمعیت برابر است با یک بعلاوه مجموع تمام افراد نامغلوب آرشیو $S(i)$ و یا برابر با i است.

گام بعدی انتخاب در یک جمعیت و آرشیو است که با استفاده از رقابت باینری انجام می‌شود باید توجه داشته باشیم که در اینجا برازندگی باید به حداقل رسیده باشد یعنی انتخاب هر فرد در آرشیو شانس و احتمال بیشتری از هر عضو جمعیت را دارد.

درنهایت بعد از نوسازی و جهش در جمعیت قدیمی جمعیت جدید جایگزین آن می‌شود؛ بااین‌وجود این الگوریتم دارای ضعف‌هایی نیز می‌باشد که در زیر به آن اشاره می‌شود.

برآورد برازندگی: افرادی که در آرشیو مغلوب می‌شوند دارای ارزش برازندگی یکسان می‌باشند. به این معنی زمانی که آرشیو دارای فرد واحدی می‌باشد، همه‌ی اعضای جمعیت همان برازندگی را دارند و این مستقل از آن است که آیا آن‌ها همدیگر را مغلوب می‌سازند یا خیر؟ پس نتیجه می‌شود که قدرت انتخاب به‌طور زیادی کاهش می‌یابد و به این شکل الگوریتم SPEA رفتاری مانند الگوریتم‌های جستجوی انتخابی دارد.

برآورد تراکم: اگر بسیاری از افراد نسل فعلی مغلوب (بی‌تفاوت) باشند هیچ اطلاعاتی یا اطلاعات کمی را می‌توان بر اساس الگوی ترتیبی که توسط رابطه‌ی نامغلوب بیان‌شده است به دست آورد.

کوتاه‌سازی آرشیو: اگرچه تکنیک خوشه‌بندی که در این الگوریتم SPEA به‌کاررفته است، قادر به کاهش مقدار افراد نامغلوب بدون از بین بردن ویژگی‌های آن‌هاست اما امکان دارد راه‌حل‌های بیرونی را از بین ببرد. درحالی‌که باید این راه‌حل‌ها و جواب‌ها در آرشیو باقی بمانند تا بتوان جواب‌های نامغلوب را افزایش و مورد گسترش قرارداد (حیرانی، ۱۳۹۶).

الگوریتم SPEA2

این الگوریتم برای فائق آمدن بر مشکلاتی که در الگوریتم نسخه اول این الگوریتم وجود داشت طراحی‌شده است که کلیت الگوریتم به شرح زیر است:

ورودی: N اندازه جمعیت $\bar{N}$ اندازه آرشیو Tحداکثر تعداد نسل

خروجی: A مجموعه جواب‌های نامغلوب

مراحل SPEA2

۱. آماده‌سازی: ایجاد و تولید جمعیت اولیه P_0 و یک آرشیو خالی $\bar{P}_0 = \emptyset \quad (t = 0)$

۲. محاسبه برازندگی: محاسبه ارزش برازندگی افراد در P_t و $\bar{P}_t$

۳. اعضای نامغلوب $P_t \cup \bar{P}_t$ را به $\bar{P}_{t+1}$ منتقل می‌کنیم اگر $|\bar{P}_{t+1}| < \bar{N}$ باشد آن را با استفاده از اعضای مغلوب P_t پر می‌کنیم و اگر $|\bar{P}_{t+1}| > \bar{N}$ باشد اعضای اضافی با روش خاصی که در پایین تشریح می‌گردد حذف می‌شود .

۴. درصورتی‌که شرایط توقف محقق نشده باشد اعضای نامغلوب $\bar{P}_{t+1}$ به‌عنوان پاسخ‌های نهایی معرفی می‌شوند.

۵. با استفاده از تورنمنت باینری والدین از $\bar{P}_{t+1}$ ایجاد می‌شود.

۶. عملیات جهش و تقاطع بر روی والدین انجام می‌شوند و P_{t+1} ایجاد می‌شود.

۷. یک واحد به شمارنده اضافه می‌کنیم $t + 1 \leftarrow t$

۸. تکرار مرحله دوم

محاسبه برازندگی:

الف) در ابتدا به هر عضو i از جمعیت $P_t \cup \bar{P}_t$ یک ارزش قدرت با نماد $s(i)$ تخصیص داده می‌شود.

$s(i)$ تعداد اعضایی از جمعیت یا آرشیو است که توسط i مغلوب می‌شوند. به زبان ریاضی

$$s(i) = |\{j | j \in \bar{p_t} \cup p_t \wedge i \prec j\}| \quad , \quad i \in P_t \cup \bar{P}_t \quad (20)$$

ب) برازندگی خام: به مجموع ارزش قدرت اعضایی از جمعیت که i توسط آن‌ها مغلوب می‌شود برازندگی خام گفته می‌شود.

$$R(i) = \sum S(k) \ , \ i \in P_t \cup \bar{P}_t \ , \ k \in P_t \cup \bar{P}_t \ \ , \ \ k \prec i \quad (15)$$

$R(i)$ یک عدد صحیح است. در SPEA2 هرقدر پاسخ‌ها توسط پاسخ قوی‌تری (پاسخی که بر تعداد اعضای بیشتری از جمعیت غلبه کند) مغلوب شوند آنگاه مقدار برازندگی خام آن‌ها بیشتر خواهد بود و در SPEA2 پاسخی موردتوجه قرار می‌گیرد که برازندگی خام کمتری داشته باشد. یعنی پاسخی که نامغلوب تر باشد شانس انتخاب بیشتری دارد. اگر دو یا چند پاسخ یکسان باشند (دارای رتبه یکسان اما در توزیع متفاوت) آنگاه برای پاسخ ارجح از برازندگی چگالی استفاده می‌شود. برازندگی از فرمول زیر محاسبه می‌شود:

$$F(i) = R(i) + D(i) \quad (21)$$

که در آن

$$D(i) = \frac{1}{\sigma_i^k + 2} \quad , \quad k = \sqrt{N + \bar{N}} \quad (22)$$

σ_i^k فاصله i از k امین همسایگی نزدیک به خود است.

انتخاب محیطی: در این مرحله تمام افراد نامغلوب یعنی افرادی که برازندگی کمتر از یک را در جمعیت و آرشیو دارند به آرشیو نسل بعدی منتقل می‌شوند:

$$\bar{P}_{t+1} = |\{i | i \in P_t + \bar{P}_{t+1} \wedge F(i) < 1\}| \quad (23)$$

گام اول انتخاب محیطی بااتصال جبهه نامغلوب به آرشیو تکمیل می‌شود. در غیر این صورت دو حالت وجود دارد: یا آرشیو خیلی کوچک است $\overline{|P_{t+1}|} < N$ یا بسیار بزرگ است $\overline{|P_{t+1}|} > N$.

در مورد اولین حالت بهترین افراد مغلوب در بایگانی قبلی و جمعیت $\bar{N} - \overline{|P_{t+1}|}$ به آرشیو نسل بعدی رونوشت می‌شوند که با مرتب‌سازی چندگانه قابل‌اجرا و با توجه به مقادیر برازندگی اولیه $P_t + \bar{P}_t$ رونوشت می‌شوند. در حالت دوم i حذف می‌شود اگر و فقط اگر به ازای هر j , $i \preceq_d j$ در حالتی که $|\overline{P_{t+1}}| = N$ باشد توقف می‌کنیم. تعریف $i \preceq_d j$ به‌صورت زیر است:

$$i \preceq_d j \ :\leftrightarrow \forall 0 < k < |\overline{P_{t+1}}| : \sigma_i^k = \sigma_i^k$$

یا

$$\exists\, 0 < k < |\overline{P_{t+1}}| : \left[\left(\forall\, 0 < 1 < k : \sigma_i^k = \sigma_i^k\right) \wedge \sigma_i^k < \sigma_i^k\right] \quad (24)$$

مفهوم رابطه بالا به این شکل قابل تشریح است که یک عدد مانند k پیدا شود که i ازنظر توزیع از j بدتر است. که تمامی همسایگی‌های قبل از k با این مقدار هم‌اندازه باشد ولی همسایگی k امش در مقایسه با j نزدیک‌تر از این مقدار باشد. یا به ازای تمامی k های که در فاصله آرشیو نسل قبل و صفر باشد فاصله بین i و j یکسان باشد (حیرانی، ۱۳۹۶).

۴. فرضیه‌ها پژوهش

۱. بازدهی سبد پتروشیمی بهینه‌شده با الگوریتم SPEA2 تحت مدل CVaR بیشتر از بازدهی سبد پتروشیمی بهینه‌شده با الگوریتم SPEA2 تحت مدل‌های MV ، MSV ، MAD است.

۲. ریسک سبد پتروشیمی بهینه‌شده با الگوریتم SPEA2 تحت مدل CVaR بیشتر از ریسک سبد پتروشیمی بهینه‌شده با الگوریتم SPEA2 تحت مدل‌های MV ، MSV ، MAD است.

۵. متغیرهای پژوهش

متغیرهای مستقل

۱. بازده سهام: بازده لگاریتمی شرکت‌های صنعت پتروشیمی که با استفاده از رابطه (۲۰) محاسبه‌شده است.

۲. عدد $\alpha - 1$ یا سطح اطمینان برای معیار ارزش در معرض خطر مشروط: نشان‌دهنده‌ی متوسط ارزش مورد انتظار فراتر از VaR است. در این پژوهش α ، مقدار ۰/۰۵ اختیار کرده است.

متغیرهای وابسته

متغیرهای وابسته بعد از حل مدل‌ها به‌دست می‌آیند که شامل:

۱. وزن هر سهم در سبد پتروشیمی

۲. بازدهی سبد پتروشیمی

۳. ریسک سبد پتروشیمی

۶. روش‌شناسی پژوهش

پژوهش حاضر ازلحاظ هدف کاربردی و در گروه پژوهش‌های توصیفی از نوع همبستگی قرار دارد و ازآنجاکه از داده‌های تاریخی استفاده می‌کند ازلحاظ طرح تحقیق پس رویداد است. جمع‌آوری داده‌ها و مبانی نظری پژوهش از روش کتابخانه‌ای و اسنادی است. جامعه آماری این پژوهش را شرکت‌های صنعت پتروشیمی تشکیل می‌دهند و نمونه آماری شامل شرکت‌های تولید مواد اولیه شیمیایی پایه هستند که بر اساس اطلاعات استخراج‌شده از سایت بورس اوراق بهادار تهران (www.tse.ir) تا زمان انجام این پژوهش ۱۲ شرکت مجاز به فعالیت بوده است. روش نمونه‌گیری مقطعی طولی است؛ داده‌های حاصل از روش مقطعی طولی در یک برهه از زمان به‌صورت تصادفی تهیه می‌شود. داده‌ها از نوع سری زمانی و قیمت پایانی ۹۰۰ روز از هر سهم است که با مراجعه به آرشیو موجود در سایت بورس اوراق بهادار تهران گردآوری‌شده است. روش عملیاتی در این پژوهش بدین‌صورت است که ابتدا داده‌ها در قالب فایل اکسل گردآوری شدند سپس با انتقال داده‌ها به نرم‌افزار MATLAB بازده لگاریتمی قیمت هر سهم به‌صورت روزانه محاسبه‌شده است. سپس الگوریتم SPEA2 در این محیط برنامه‌نویسی کد نویسی شده است و هریک از مدل‌های MV، MSV، MAD، CVaR با استفاده از الگوریتم SPEA2 حل‌شده‌اند و وزن هر سهم و ریسک و بازدهی هر سبد محاسبه‌شده و مرز کارا هریک از سبدها ترسیم‌شده است. در ادامه با استفاده از رویکرد پنجره غلطان پس آزمایی سبدهای بهینه انجام شد و ۱۰ سبد حاصل از این پس آزمایی مبنای تصمیم‌گیری در

این پژوهش قرار گرفت. همچنین برای آزمون نمودن فرضیه‌ها از آزمون علامت زوج- نمونه‌ای ویلکاکسون موجود در نرم‌افزار SPSS استفاده شد.

۷. یافته‌های پژوهش و آزمون فرضیه‌ها

گام اول: ابتدا بازده لگاریتمی هر سهم با استفاده از رابطه زیر محاسبه شد:

$$r_t = ln\frac{p_t}{p_{t-1}} \qquad (25)$$

که در آن p_t قیمت در زمان t و p_{t-1} قیمت در زمان $t-1$ است.

سپس پارامترهای اولیه شامل تعداد آرشیو ۱۰۰، تعداد نسل ۲۰۰، تعداد جمعیت ۵۰، عملگر تقاطعی ۰/۷، عملگر جهشی ۰/۳ برای الگوریتم SPEA2 تنظیم شد. در ادامه الگوریتم بر اساس اندازه جمعیت ۵۰ سبد سهام را به‌عنوان کروموزوم تولید و فرآیند تکامل را تا ۲۰۰ نسل ادامه داد. در انتها ۵۰ سبد سهام بر اساس الگوریتم SPEA2 و بر پایه ریسک و بازده اولویت‌بندی شد. سپس اطلاعات آخرین عضو جمعیت که شامل وزن هر سهم و ریسک و بازدهی سبد است به‌عنوان خروجی در نظر گرفته شد.

جدول ۱. وزن هر سهم در سبد بهینه‌شده با الگوریتم SPEA2 تحت معیارهای مختلف ریسک

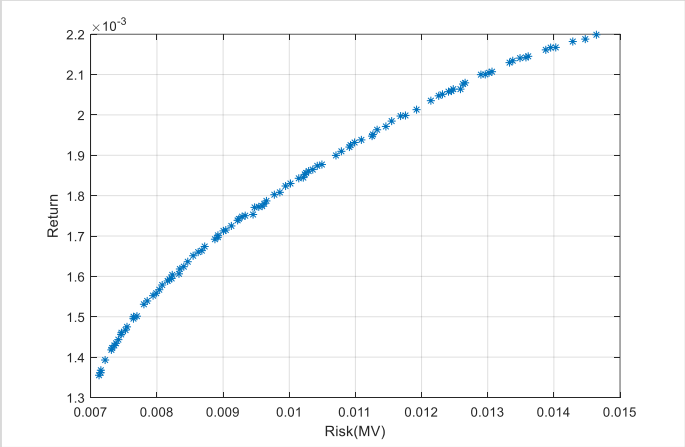
مدل / سهم	MV	MSV	MAD	CVaR
شازند	۰/۰۰۳۷	۰/۰۱۹۴	۰/۰۶۱۹	۰/۰۰۲۱
نفت و گاز پارس	۰/۰۶۵۱	۰/۰۸۱۲	۰/۰۷۴۸	۰/۰۲۳۵
فناوران	۰/۲۸۸۵	۰/۱۵۰۳	۰/۱۶۹۵	۰/۲۳۴۹
جم	۰/۰۰۰۷	۰/۰۳۷۸	۰/۱۴۲۳	۰/۰۰۴۳
کرمانشاه	۰/۰۱۰۳	۰/۱۰۱۹	۰/۰۸۲۶	۰/۰۱۹۷
خارک	۰/۰۰۵۹	۰/۰۱۳۷	۰/۰۳۶۳	۰/۰۱۳۱
پردیس	۰/۰۴۴۳	۰/۱۲۱۵	۰/۰۷۷۶	۰/۰۵۸۵
شیراز	۰/۲۱۹۸	۰/۱۶۵۸	۰/۰۹۹۵	۰/۲۷۰۲
فارس	۰/۰۹۰۹	۰/۰۷۶۷	۰/۰۵۲۷	۰/۰۸۶۰
سینا	۰/۲۲۹۷	۰/۱۱۰۴	۰/۰۶۸۴	۰/۲۶۵۴
شیمیایی‌ایران	۰/۰۰۳۷	۰/۰۳۵۲	۰/۰۵۵۹	۰/۰۰۷۶
گروه‌پتروشیمی پارسیان	۰/۰۳۷۴	۰/۰۸۶۲	۰/۰۷۸۷	۰/۰۱۴۸

همان‌طور که ملاحظه می‌شود بیشترین وزن در سبدهای بهینه‌شده با الگوریتم SPEA2 تحت معیار MV ، MAD به شرکت فناوران اختصاص داده‌شده است و در سبد بهینه‌شده با الگوریتم SPEA2 تحت معیار MSV ، CVaR بیشترین وزن را شرکت پتروشیمی شیراز دارد.

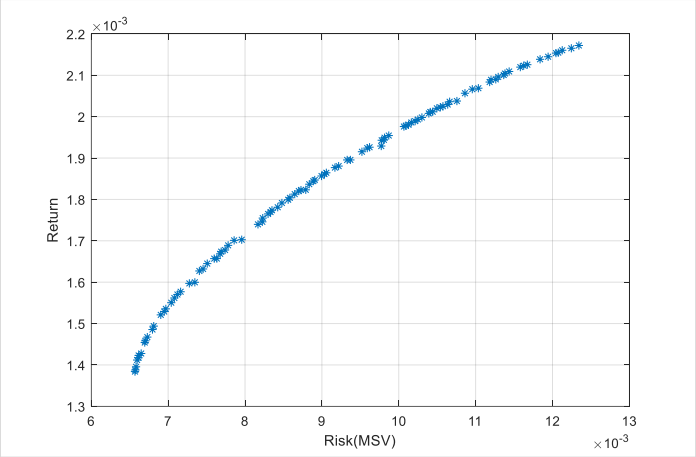
جدول ۲. بازده و ریسک سبد بهینه‌شده با الگوریتم SPEA2 تحت معیارهای مختلف ریسک

	MV	MSV	MAD	CVaR
بازده	۰/۰۰۲۰	۰/۰۰۱۵	۰/۰۰۱۳	۰/۰۰۲۰
ریسک	۰/۰۱۱۳	۰/۰۰۷۰	۰/۰۰۵۲	۰/۰۲۱۶

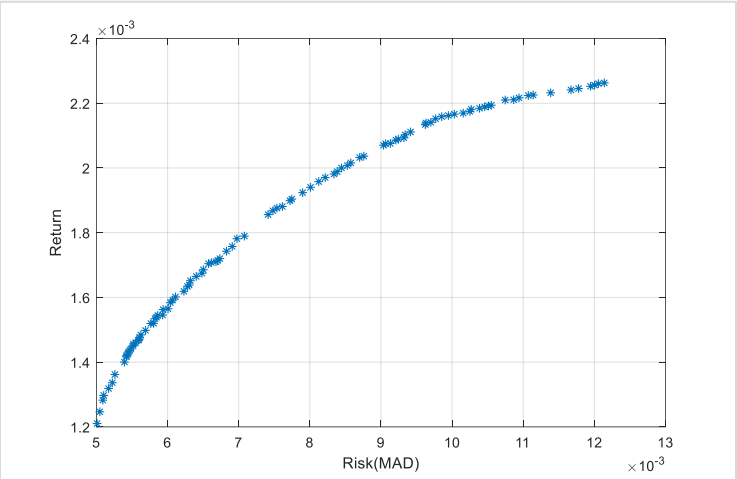
همان‌طور که مشاهده می‌شود میزان ریسک در سبد بهینه‌شده با الگوریتم SPEA2 تحت معیارCVaR افزایش‌یافته است.



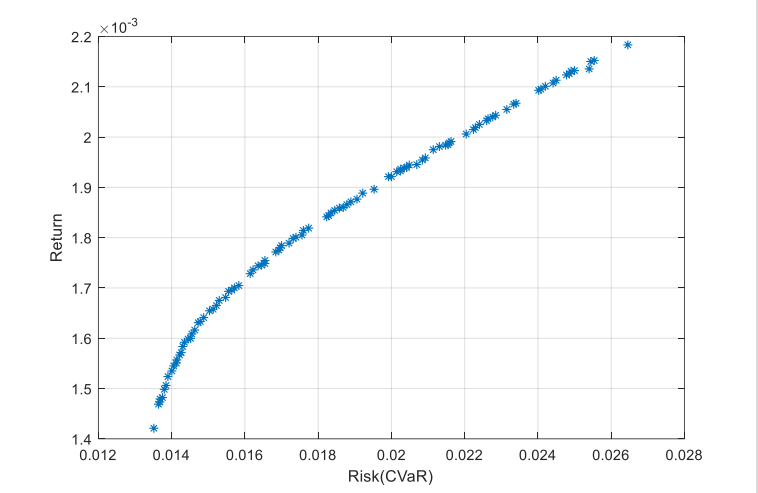
شکل ۱. مرز کارا سبد بهینه‌شده با الگوریتم SPEA2 تحت معیار ریسک میانگین- واریانس



شکل ۲. مرز کارا سبد بهینه‌شده با الگوریتم SPEA2 تحت معیار ریسک میانگین- نیم واریانس



شکل ۳. مرز کارا سبد بهینه‌شده با الگوریتم SPEA2 تحت معیار ریسک میانگین- انحراف مطلق



شکل ۴. مرز کارا سبد بهینه‌شده با الگوریتم SPEA2 تحت معیار ریسک میانگین- ارزش در معرض خطر مشروط

همان‌طور که ملاحظه می‌شود مرز کارای سبد بهینه‌شده تحت معیار CVaR انحنای کمتری نسبت به سایر مرزهای کارا دارد و این بدین معناست که بیشترین همبستگی بین سهم‌ها در این معیار ریسک در نظر گرفته می‌شود.

گام دوم: با استفاده از رویکرد پنجره غلتان به پس آزمایی سبدهای بهینه پرداخته شد. در این رویکرد در هر مرحله با استفاده از داده‌های مربوط به پنجره اوزان بهینه محاسبه می‌شود. این فرآیند با غلط زدن پنجره و داده‌های

جدید تکرار شده و اوزان بهینه دوباره محاسبه می‌شود. در انتها $T - wl$ سبد طی این فرآیند حاصل خواهد شد که T دوره زمانی موردنظر و wl طول پنجره است. در این پژوهش طول پنجره ۶۰ روزه در نظر گرفته شد و در انتهای ۶۰ روز ریسک و بازدهی سبدها محاسبه شد. این پس آزمایی از خرداد ماه ۹۷ شروع شد و تا اسفند ماه ۹۸ به طول انجامید.

جدول ۳. ریسک ۱۰ سبد بهینه‌شده با الگوریتم SPEA2 تحت معیارهای مختلف ریسک

سبد	MV	MSV	MAD	CVaR
۱	۰/۰۰۴۸	۰/۰۰۲۶	۰/۰۰۵۳	۰/۰۰۵۵
۲	۰/۰۰۲۹	۰/۰۰۲۸	۰/۰۰۳۸	۰/۰۰۳۸
۳	۰/۰۰۴۰	۰/۰۰۱۷	۰/۰۰۲۹	۰/۰۰۴۰
۴	۰/۰۰۳۵	۰/۰۱۰۲	۰/۰۰۳۷	۰/۰۰۹۸
۵	۰/۰۰۹۴	۰/۰۰۷۸	۰/۰۱۱۴	۰/۰۱۰۸
۶	۰/۰۰۰۳۴	۰/۰۰۰۵۵	۰/۰۰۱۵	۰/۰۰۰۳۷
۷	۰/۰۰۳۳	۰/۰۱۰۸	۰/۰۰۵۷	۰/۰۱۰۵
۸	۰/۰۰۵۶	۰/۰۰۷۰	۰/۰۱۳۸	۰/۰۱۳۸
۹	۰/۰۰۳۴	۰/۰۰۵۹	۰/۰۰۵۷	۰/۰۰۵۴
۱۰	۰/۰۰۵۴	۰/۰۰۸۲	۰/۰۰۷۹	۰/۰۰۷۱
میانگین	۰/۰۰۴۳	۰/۰۰۵۷	۰/۰۰۵۹	۰/۰۰۷۱

جدول ۴. بازده ۱۰ سبد بهینه‌شده با الگوریتم SPEA2 تحت معیارهای مختلف ریسک

سبد	MV	MSV	MAD	CVaR
۱	۰/۰۰۸۴	۰/۰۰۲۴	۰/۰۰۷۷	۰/۰۱۴۴
۲	۰/۰۰۵۰	۰/۰۰۳۲	۰/۰۰۶۶	۰/۰۰۹۶
۳	۰/۰۱۰۲	۰/۰۰۳۹	۰/۰۰۵۰	۰/۰۱۴۸
۴	۰/۰۰۶۷	۰/۰۱۶۶	۰/۰۰۵۶	۰/۰۳۰۳
۵	۰/۰۱۱۰	۰/۰۰۹۰	۰/۰۱۲۷	۰/۰۱۹۱
۶	۰/۰۰۴۲	۰/۰۱۰۲	۰/۰۰۴۹	۰/۰۱۶۸
۷	۰/۰۰۳۹	۰/۰۲۱۹	۰/۰۰۵۰	۰/۰۲۵۶
۸	۰/۰۰۷۰	۰/۰۰۸۵	۰/۰۱۹۹	۰/۰۳۰۹
۹	۰/۰۰۶۴	۰/۰۱۲۳	۰/۰۰۸۹	۰/۰۱۳۴
۱۰	۰/۰۰۷۵	۰/۰۱۵۵	۰/۰۱۱۰	۰/۰۱۲۷
میانگین	۰/۰۰۷۰	۰/۰۱۰۳	۰/۰۰۸۷	۰/۰۱۸۸

گام سوم (آزمون فرض): هر حکمی درباره جامعه را یک فرض آماری می‌نامند که قابل‌قبول بودن آن باید بر مبنای اطلاعات حاصل از نمونه‌گیری از جامعه بررسی شود. ازاین‌رو به‌منظور آزمون نمود فرضیه‌ها از آزمون ویلکاکسون زوجی استفاده شد. نتایج حاصل از این آزمون در جدول زیر آورده شده است:

جدول ۵. آزمون ویلکاکسون زوجی بازده سبدهای بهینه‌شده با الگوریتم SPEA2 تحت معیارهای مختلف ریسک

مقایسه بازدهی مدل‌ها	آماره Z	Sig.(2tailed)	قبول یا رد
CVaR-MV	۱/۸۸۶	۰/۰۵۹	قبول
CVaR-MSV	۰/۶۶۳	۰/۵۰۸	قبول
CVaR-MAD	۰/۶۶۳	۰/۵۰۸	قبول

با توجه به اینکه مقدار معناداری (sig) از ۰/۰۵ (سطح خطا) بیشتر است پس فرض نابرابری میانگین بازدهی‌ها رد می‌شود. به‌عبارت‌دیگر فرضیه اول پژوهش پذیرفته نیست. همچنین با توجه به کوچک بودن قدر مطلق آماره تفاوت معناداری بین بازدهی الگوریتم SPEA2 تحت معیار CVaR با بازدهی الگوریتم SPEA2 تحت سایر معیارها وجود ندارد.

جدول ۶. آزمون ویلکاکسون زوجی ریسک سبدهای بهینه‌شده با الگوریتم SPEA2 تحت معیارهای مختلف ریسک

مقایسه ریسک مدل‌ها	آماره Z	Sig.(2tailed)	قبول یا رد
CVaR-MV	۲/۸۰۳	۰/۰۰۵	رد
CVaR-MSV	۲/۷۰۱	۰/۰۰۷	رد
CVaR-MAD	۲/۸۰۳	۰/۰۰۵	رد

با توجه به اینکه مقدار معناداری (sig) از ۰/۰۵ (سطح خطا) کمتر است پس فرض نابرابری میانگین ریسک‌ها رد نمی‌شود. یا به عبارتی فرض صفر آزمون ویلکاکسون مبنی بر برابری میانگین‌ها رد می‌شود. همچنین با توجه به بزرگ بودن قدر مطلق آماره تفاوت معناداری بین ریسک الگوریتم SPEA2 تحت معیار CVaR با ریسک الگوریتم SPEA2 تحت سایر معیارها وجود دارد.

۸. نتیجه‌گیری و بحث

سرمایه‌گذاران در مسئله انتخاب سبد باید تحت بازدهی مشخص ریسک را حداقل کنند تا سبدی بهینه به‌دست آورند. ازاین‌رو تعیین اینکه کدام‌یک از مدل‌های انتخاب سبد کارکرد بهتری دارد بسیار حائز اهمیت است. برای تعیین مدل برتر مقایسه مدل‌ها می‌تواند مفید باشد؛ زیرا تخمین ریسک با بهره‌گیری از این مدل‌ها واضح‌تر صورت می‌گیرد؛ بنابراین در این پژوهش با استفاده از داده‌های ۱۲ شرکت پتروشیمی مجاز به فعالیت در دوره زمانی ۹۴/۱۲/۱ تا ۹۸/۱۲/۱۲ به بهینه‌سازی سبد پتروشیمی با استفاده از مدل‌های میانگین- واریانس، میانگین- نیم واریانس، میانگین- انحراف مطلق، میانگین- ارزش در معرض خطر مشروط پرداخته‌شده است. از طرف دیگر الگوریتم‌های فرا ابتکاری مدل‌های انتخاب سبد را با دقت بیشتری حل می‌کنند و مقادیر بهینه بهتری ارائه می‌دهند؛ بنابراین این پژوهش به حل مدل‌های ذکرشده با الگوریتم تکاملی قدرت پارتو (SPEA2) پرداخته است تا کارایی و قابلیت این الگوریتم را در حل مسئله سبد نشان دهد. ازآنجاکه ارائه مرز کارا معیار بسیار مفیدی در جهت ارزش‌گذاری نسبی سبد سهام است پس از حل هریک از مدل‌ها با الگوریتم یادشده مرز کارای ۴ مدل ترسیم شد و وزن هر یک از سهم‌ها در سبدهای بهینه‌ی مختلف به دست آمد. مقایسه مرزها بیانگر این است که معیار CVaR درازای بازدهی مشخص ریسک بیشتر را نسبت به سایر روش‌ها تخمین می‌زند. برای اطمینان از جواب‌های به‌دست‌آمده با استفاده از رویکرد پنجره غلطان دوباره به بهینه‌سازی سبد پرداخته شد و جواب‌های حاصل از آن در جهت آزمون فرضیه‌های پژوهش به کار گرفته شد. فرضیه‌های اول و دوم با استفاده از آزمون زوجی ویلکاکسون موردبررسی قرار گرفتند. نتایج حاصل از آزمون فرضیه اول، فرضیه اول پژوهش را تائید ننمود، به‌عبارت‌دیگر بین بازدهی سبد پتروشیمی تولیدشده توسط الگوریتم SPEA2 تحت معیار CVaR با بازدهی سبد پتروشیمی تولیدشده توسط الگوریتم SPEA2 تحت سایر معیارها تفاوت معناداری وجود ندارد؛ اما آزمون فرضیه دوم نشان داد که تفاوت معناداری بین ریسک سبد پتروشیمی تولیدشده توسط الگوریتم SPEA2 تحت معیار CVaR با ریسک سبد پتروشیمی تولیدشده توسط الگوریتم SPEA2 تحت سایر معیارها وجود دارد. به‌عبارت‌دیگر میانگین ریسک سبد پتروشیمی تولیدشده توسط الگوریتم SPEA2 تحت معیار CVaR بیشتر از سایر معیارها است. در یک جمع‌بندی کلی نتایج این پژوهش نشان می‌دهد که معیار ارزش در معرض خطر مشروط با احتساب نوسانات منفی به ارزیابی ریسک می‌پردازد. ازاین‌رو این معیار ارجحیت بیشتری نسبت به سایر معیارها دارد پس وقتی یک سرمایه‌گذار محافظه‌کار اطمینان کمتری به بازار دارد و احتمال می‌دهد بازار دچار نوسان شود می‌تواند از الگوریتم SPEA2 تحت معیار ریسک ارزش در معرض خطر مشروط استفاده کند. این معیار بهترین جواب ممکن را در بدترین حالت نوسان داده‌ها ارائه می‌دهد. با توجه به اینکه در تحقیقات پیشین بهینه‌سازی تک هدفه سبد سرمایه‌گذاری موردبررسی قرارگرفته بود و تنها بر روی یک هدفِ ماکزیمم بازدهی و یا مینیمم ریسک تأکید شده بود؛ بنابراین مشخص نبود که ماکزیمم بازدهی درازای چه ریسکی رخ می‌دهد و یا مینیم ریسک چه میزان بازدهی برای فرد سرمایه‌گذار در پی خواهد داشت. نتایج این پژوهش نشان داد که اگر دو هدف ماکزیمم بازدهی و مینیمم ریسک هم‌زمان در مسئله‌ی بهینه‌سازی سبد منظور شوند می‌توان حداکثر بازدهی را که درازای ریسک مشخص برای فرد رخ می‌دهد تعیین نمود. در این صورت میزان ریسکی که فرد سرمایه‌گذار را تهدید می‌کند مشخص است و وی بر

اساس این ریسک انتخاب‌های خود را مدیریت می‌کند؛ زیرا در صورت انتخاب‌های ناآگاهانه در بازار پرتلاطم سرمایه دچار زیان‌های جبران‌ناپذیری خواهد شد. در انتها در راستای پژوهش‌های آتی به پژوهشگران پیشنهاد می‌شود:

۱) محدودیت کاردینالیتی به هریک از مدل‌ها افزوده شود و سپس به حل آن‌ها با الگوریتم SPEA2 پرداخته شود.
۲) بهینه‌سازی سبد با الگوریتم SPEA2 با الگوریتم NSGA II تحت معیارهای مختلف ریسک مقایسه شود.
۳) به حل مسئله سه هدفه شامل حداکثر سازی بازده، حداقل سازی ریسک (معیارهای مختلف ریسک) و حداقل سازی تعداد دارایی‌ها با الگوریتم SPEA2 پرداخته شود.

فهرست منابع

* اصغرپور حسین، رضازاده علی. تعیین سبد بهینه سهام با استفاده از روش ارزش در معرض خطر. فصلنامه نظریه‌های کاربردی اقتصاد. ۱۳۹۴. شماره ۴: ۱۱۸-۹۳.
* اقبال نیا محمد. دلیران سید مازیار. بهینه‌سازی سبد سهام به شیوه فازی و با استفاده از الگوریتم فراابتکاری جستجوی ناخودآگاه. فصلنامه دانش سرمایه‌گذاری. ۱۳۹۸. شماره ۳۲: ۲۶۹-۲۵۱.
* تهرانی رضا، فلاح تفتی سیما، آصفی سپهر. بهینه‌سازی سبد سهام به کمک الگوریتم فراابتکاری دسته‌های میگو با استفاده از معیارهای مختلف ریسک در بورس اوراق بهادار تهران. فصلنامه تحقیقات مالی. ۱۳۹۷. شماره ۴: ۴۲۶-۴۰۹.
* تهرانی رضا، نوربخش عسگر. مدیریت سرمایه‌گذاری. انتشارات نگاه دانش، ۱۳۸۹.
* سلیمی محمد جواد. فلاح شمس میر فیض. خواجه‌زاده دزفولی هادی. بهینه‌سازی تکاملی فازی سه هدفه و چهار هدفه سبد سرمایه‌گذاری در بورس اوراق بهادار تهران. فصلنامه دانش سرمایه‌گذاری. ۱۳۹۹. شماره ۳۴: ۲۷۵-۲۵۹.
* حیرانی میلاد. مقایسه الگوریتم‌های بهینه‌سازی سبد سرمایه‌گذاری بر مبنای الگوریتم‌های فرا ابتکاری مبتنی بر میانگین- ارزش در معرض ریسک در بورس اوراق بهادار تهران. پایان‌نامه کارشناسی ارشد مدیریت مالی. دانشکده اقتصاد و مدیریت. دانشگاه ارومیه. ۱۳۹۶.
* دیده خانی حسین. عباسی ابراهیم. شیرقهی امیر. مشاری محمد. توسعه مدل بهینه‌سازی پرتفوی میانگین-انحراف مطلق (MAD) با رویکرد عدم قطعیت ترکیبی- فازی و در نظر گرفتن نگرش سرمایه‌گذاران به ریسک. فصلنامه مهندسی مالی و مدیریت اوراق بهادار. ۱۳۹۸. شماره ۴۰: ۱۰۲-۸۴.
* سینا افسانه. فلاح میرفیض. مقایسه عملکرد مدل‌های ارزش در معرض ریسک کاپیولا- CVaR جهت بهینه-سازی پرتفوی در بورس اوراق بهادار تهران. نشریه چشم‌انداز مدیریت مالی.۱۳۹۹. شماره ۲۹: ۱۴۶-۱۲۵.
* شریعت پناهی سید مجید. عبادی جواد. پیمانی مسلم. پیش‌بینی بازده با استفاده از معیارهای مختلف ریسک بر اساس شواهدی از بورس اوراق بهادار تهران. مطالعات تجربی حسابداری مالی.۱۳۹۰. شماره ۸: ۱۱۹-۱۰۱.

* شاهمرادی مهتاب. صلاحی مازیار. لطفی سمیه. مدل میانگین- انحراف مطلق با عدم قطعیت روی بازده‌ها برای بهینه‌سازی سبد سهام. مجله تحقیق در عملیات در کاربردهای آن. ۱۳۹۴. شماره ۲: ۱۷-۱.
* قاسمی جمال، فرزاد سروه. مروری بر الگوریتم‌های فرا ابتکاری در مباحث مالی. بررسی‌های بازرگانی. ۱۳۹۸. شماره ۹۶: ۷۷-۵۶.
* کیانی هرچگانی مائده. نبوی چاشمی سید علی. معماریانی عرفان. بهینه‌سازی سبد سهام بر اساس حداقل سطح پذیرش ریسک کل و اجزای آن با استفاده از روش الگوریتم ژنتیک. فصلنامه دانش سرمایه‌گذاری. ۱۳۹۳. شماره۱۱: ۱۶۴-۱۲۵.
* گرکز منصور. عباسی ابراهیم. مقدسی مطهره. انتخاب و بهینه‌سازی سبد سهام با استفاده از الگوریتم ژنتیک بر اساس تعاریف متفاوتی از ریسک. فصلنامه مدیریت صنعتی. ۱۳۸۹. شماره ۱۱: ۱۳۶-۱۱۵.
* نبوی چاشمی سید علی. دادش‌پور عمرانی احمد. انتخاب سبد سهام چند هدفه تحت محدودیت احتمالی در بستر بازار سرمایه ایران. فصلنامه مهندسی مالی و مدیریت اوراق بهادار. ۱۳۹۱. شماره ۱۳: ۸۹-۷۳.
* موشخیان سیامک. نجفی امیرعباس. بهینه‌سازی سبد سرمایه‌گذاری با استفاده از الگوریتم چند هدفه ازدحام ذرات برای مدل احتمالی چند دوره‌ای میانگین- نیم‌واریانس- چولگی. فصلنامه مهندسی مالی و مدیریت اوراق بهادار. ۱۳۹۴. شماره ۲۳: ۱۴۷-۱۳۳.
* مروتی‌شریف‌آبادی علی. عزیزی شیرین. احمدی نسترن. به‌کارگیری الگوریتم رقابت استعماری (ICA) در بهینه‌سازی و تشکیل پرتفلیو. فصلنامه دانش سرمایه‌گذاری. ۱۳۹۴. شماره ۱۳: ۴۱-۱۹.
* مرادی محمد. بهینه‌سازی سبد سرمایه‌گذاری در بورس اوراق بهادار تهران با استفاده از الگوریتم چرخه آب (WAC). نشریه چشم‌انداز مدیریت مالی. ۱۳۹۶. شماره ۲۰: ۳۲-۹.
* Anagnostopoulos, K. & Mamanis, G. (2009). Multi objective evolutionary algorithms for complex Portfolio optimization problems. Springer- Verlag, 8(3):259-279.
* Bermods, C. & Gomez, S. (2012).The Memetic Tree-based Genetic Algorithm and its application to Portfolio optimization, springer Series in Operations research and Financial Engineering,35.
* Babazadeh, H. & Esfahanipour, A. (2019). A novel multi period mean – VAR Portfolio optimization model considering practical constraints and transaction cost. Journal of Computational and Applied Mathematics, 361, 313-342.
* Fekri, R. & Amiri, M. & Sajjad, R. & Golestaneh, R. (2016). Optimization of Bank Portfolio Investment Decision Considering Resistive Economy. Journal of Money and Economy,11(4), 375-400
* Hunjra, A. I. & Alawi, S. M. & Colombage, S. & Sahito, U. & Hanif, M. (2020). Portfolio Construction by Using Different Risk Models: A Comparison among Diverse Economic Scenarios. Risk, 8(4),126.
* Hao, F.F. & Liu,Y.K. (2009). Mean variance models for portfolio selection with fuzzy random returns. springer: J Appl Math Comput, 30, 9-38.
* Gökgöz, F. & Atmaca, M. E. (2017). Portfolio optimization under lower partial moments in emerging electricity markets: Evidence from Turkey. Renewable and Sustainable Energy Reviews 67: 437–49.
* Kandasamy, H. (2008). Portfolio Selection under Various Risk Measures, Ph.D thesis, Mathematical Sciences, Clemson University.

* Konno, H. & Yamazaki, H. (1991). Mean-absolute deviation portfolio optimization model and its applications to Tokyo stock market, Management science,56(2), 47-67.
* Lobato, L. & Godinho, P. & Alves, M. (2017). Mean- semivariance portfolio optimization with multiobjective evolutionary algorithms and technical analysis, Expert Systems with Applications, 79, 33-43.
* Markowitz, H. (1952). Portfolio selection, Journal of Finance, 7(1), 77–91.
* Suksonghong, K. & Boonlong, K. & Leng Goh, K. (2014). Multi-objective genetic algorithms for solving portfolio optimizationproblems in the electricity market. Electrical Power and Energy Systems, 58, 150-159.
* Yao, H. & Li, Z. & Lai,Y. (2012). Mean –CVaR portfolio selection :A nonparametric estimation framework. Computers & Operations Research,40(4),1014-102.

Financial Economics
Vol. (13) Issue (52) Winter 2024

Two-objective optimization of petrochemical portfolio with Strength Pareto Evolutionary Algorithm (SPEA2) by different approaches in portfolio selection

Arezou Karimi
Master of Financial Mathematics, Faculty of Basic Sciences, University of Ayatollah Boroujerdi, Boroujerd, Iran. (Corresponding Author)
karimiar355@gmail.com

Fatemeh Zakipour
Ph.D. Candidate in Applied Mathematics, Faculty of Mathematics, University of Kashan, Kashan, Iran.
F.zakipour70@gmail.com

Abstract
The issue of choosing a portfolio is a multi-objective issue; Therefore, the need to know the methods of solving portfolio selection models is of great importance. Ultra-innovative algorithms are new ideas that were introduced in this regard. The multi-objective SPEA2 algorithm is one of the algorithms that solves the portfolio optimization problem. The purpose of this study is to use the SPEA2 multi-objective algorithm to achieve the desired combination of petrochemical companies in the petrochemical portfolio. The objective functions of the problem under study include the two objectives of maximizing returns and minimizing risk. The statistical sample includes data of 900 days of 12 petrochemical companies allowed to operate from 1/12/94 to 12/12/98, which by transferring this data to MATLAB software, the logarithmic return each stock is calculated and is the input of SPEA2 algorithm. Then the SPEA2 algorithm is implemented for each of the models of Mean-Variance, Mean-Semi Variance, Mean-Absolute Deviation, Mean- Conditional Value at Risk and the weight of each stock and risk and return of each portfolio are calculated. Then, using SPSS software, the mean difference between risk and return of the models was tested. The results show that the returns obtained by SPEA2 algorithm under different risk models are not statistically significant; However, the portfolio risk created by the SPEA2 algorithm under the Conditional Value at Risk model is significantly different from other risk measures and shows more risk.
Keywords: Portfolio, SPEA2 algorithm, MV, MSV, MAD, CVaR