فصلنامه مدیریت صنعتی دانشکده علوم انسانی، دانشگاه آزاد اسلامی
واحد سنندج – سال سیزدهم/ شماره ۴۴ /تابستان ۱۳۹۷

ارائه مدلی جهت اعتبارسنجی مدل بهینه‌سازی سبد سرمایه‌گذاری چند دوره‌ای با رویکرد کنترل ورشکستگی

سنور مدرسی

دکترای حسابداری،گروه حسابداری، واحد کرمانشاه، دانشگاه آزاد اسلامی، کرمانشاه، ایران

فرشید خیراللهی (نویسنده مسؤول)

استادیار حسابداری،گروه حسابداری، دانشگاه رازی کرمانشاه، کرمانشاه، ایران

Email:f.kheirollahi@razi.ac.ir

مهرداد قنبری

استادیار حسابداری،گروه حسابداری،واحد کرمانشاه،دانشگاه آزاد اسلامی، کرمانشاه، ایران

بابک جمشیدی نوید

استادیار حسابداری،گروه حسابداری، واحد کرمانشاه، دانشگاه آزاد اسلامی، کرمانشاه، ایران

تاریخ دریافت: ۹۷/۲/۳۰ * تاریخ پذیرش: ۹۷/۰۶/۸

چکیده

در این پژوهش به ارائه یک مدل ریاضی برای بهینه‌سازی سبد اوراق بهادار چند دوره‌ای با رویکرد کنترل ورشکستگی پرداخته شده است. اهداف بهینه‌سازی سبد اوراق بهادار چند دوره‌ای، بیشینه‌سازی ارزش خروجی مورد انتظار سرمایه‌گذار، کمینه کردن ریسک انباشته، کمینه کردن عدم اطمینان بازده‌های سبد اوراق بهادار در طول دوره سرمایه‌گذاری در نظر گرفته‌شده است که دستیابی به این سه هدف تحت تأثیر دو محدودیت کنترل ورشکستگی و حداکثر و حداقل تعدیلات مقادیر سرمایه‌گذاری در طول دوره سرمایه‌گذاری بررسی شده است. الگوریتم ترکیبی بهینه‌سازی ازدحام ذرات، به‌عنوان راه‌حل پیشنهاد شده برای حل مدل در نظر گرفته شده است و نمونه‌ای عملی برای نشان دادن کاربرد مدل پیشنهاد شده، ارائه گردیده است که شامل سبد اوراق بهاداری با ۱۷ نوع سهام مختلف از شرکت‌های پذیرفته‌شده در بورس اوراق بهادار تهران بوده است که برای یک دوره سه‌ساله از سال ۱۳۹۳ تا سال ۱۳۹۵ بازده روزانه سهام این شرکت‌ها به‌عنوان ورودی مدل مورداستفاده قرارگرفته است. با استفاده از جدول تحلیل حساسیت، ۳ حالت مختلف برای وزن‌های اهداف بهینه‌سازی سبد اوراق بهادار چند دوره‌ای تعیین‌شده است. درنهایت حالتی از سرمایه‌گذاری که سرمایه‌گذار به هر سه هدف بهینه‌سازی وزن برابر می‌دهد، مناسب‌ترین حالت برای بهینه‌سازی سبد اوراق بهادار چند دوره‌ای بوده است. به‌منظور اعتبارسنجی الگوریتم طراحی‌شده برای حل مدل، نتایج به‌دست‌آمده با دو الگوریتم دیگر مقایسه شده که نتایج تجربی نشان داده است، الگوریتم پیشنهاد شده توسط این پژوهش برای حل مدل، نسبت به دو الگوریتم مقایسه‌ای، مناسب‌تر بوده است.

کلمات کلیدی: ارزش مورد انتظار سرمایه‌گذار، بهینه سازی پرتفوی چند دوره‌ای، ریسک انباشته، عدم قطعیت بازده پرتفوی، کنترل ورشکستگی.

۱- مقدمه

یکی از اصول اساسی سرمایه‌گذاری مالی تنوع بخشی است، که سرمایه‌گذاران باید سرمایه‌های خود را بین دارایی های مختلف بر طبق بازده آن ها تخصیص دهند. مارکویتز (۱۹۵۲)، به طور کلی مدل مشهور میانگین – واریانس (MV) را ارائه داد که منجربه ایجاد یک بنیان اساسی برای انتخاب سبد اوراق بهادار تک دوره‌ای شد(Markowitz,1952) . اما در زندگی واقعی سرمایه‌گذاران تمایل دارند که از پرتفوی چند دوره‌ای استفاده نمایند و معمولا نیازمند، بهینه‌سازی مجدد انتخاب‌های خود از زمانی به زمان دیگر هستند. بعد از کارهای اولیه مارکویتز، تعداد زیادی از پژوهشگران فعالیت خود را به موارد چند دوره‌ای گسترش دادند. به عنوان مثال می‌توان آلتون و گردبر(۱۹۷۴)، ماکانسون (۱۹۶۸)، را نام برد. در مدیریت سرمایه‌گذاری چند دوره-ای، ورشکستگی ممکن است به صورت یک فاجعه در میان دوره و یا پایان دوره مالی، زمانیکه ثروت کل یک سرمایه‌گذار به زیر مقدار پیش تعیین شده سقوط می‌کند، رخ دهد. بنابراین، چگونگی کنترل ورشکستگی در انتخاب پرتفوی چند دوره‌ای به یک موضوع مهم در مدیریت ریسک مالی تبدیل شده است. به عنوان مثال لی و لی (۲۰۱۲)، وی و یی (۲۰۰۷)، و ژو و همکاران (۲۰۰۴)، پژوهش‌هایی را در این زمینه انجام داده‌اند. هدف این پژوهش بحث در مورد مسئله کنترل ورشکستگی جهت بهینه-سازی پرتفوی فازی چند دوره‌ای بوده است.

تاکنون تلاش‌های مداومی در راستای گسترش انتخاب پرتفوی از مورد تک‌دوره‌ای به مورد چند دوره‌ای با استفاده از رویکردهای مختلف صورت گرفته است. لیو و همکاران، رویکرد تک‌دوره‌ای را به منظور حل مسئله پرتفوی چند دوره‌ای، به کار بردند و نتیجه‌ی انتقاد آمیزی بدست آوردند، که در ارتباط با بهینه‌سازی میانگین – واریانس سبد اوراق بهادار، و منطبق با مرز کارا بود (Lio and et al, 2000). چو و همکاران، مدل میانگین – واریانس را برای مسئله انتخاب در پرتفوی چند دوره‌ای بدون هیچ محدودیتی بکار بردند (Cho and et al,2014). لی و همکاران ، یک مدل میانگین ـ واریانس را بدون محدودیت در نظر گرفتند و مرز کارا را بدست آوردند و استراتژی سرمایه‌گذاری کارا را برای مسئله میانگین ـ واریانس ارائه نمودند (Li and et al., 2002). یان و همکاران ، مدل چند دوره‌ای نیمه واریانس را ارائه دادند و یک روش ترکیبی از الگوریتم ژنتیک(GA)[1] با بهینه‌سازی ذرات بنیادی (PSO)[2] را برای حل مدل پیشنهاد شده ارائه نمودند (Yan and et al., 2007). کالا فیور، مشکلات مدل تصمیم‌گیری ترتیبی چند دوره‌ای را برای تخصیص دارایی مالی مورد بررسی قرار داد و مدلی را برای انتخاب پرتفوی چند دوره‌ای با هدف کمینه کردن ریسک انباشته اندازه گیری شده در طول دوره سرمایه‌گذاری ارائه داد (Calafiore, 2008). رهنمای رود پشتی و همکاران، بهینه‌سازی پرتفوی متشکل از سهام صندوق‌های سرمایه‌گذاری مشترک بورس اوراق بهادار تهران با رویکرد الگوریتم ژنتیک را مورد بررسی قرار دادند(Rahnamaye Rudposhti and et al., 2013).

با استفاده وسیع از تئوری مجموعه فازی ارائه شده توسط زاده، عده زیادی از پژوهشگران دریافتند که می‌توانند از تئوری مجموعه فازی در مواقع ابهام در بازارهای مالی استفاده کنند(Zadeh,1965)، مانند الیمی و همکاران(۲۰۱۲)، قراخانی و صادقی(۲۰۱۳). در واقع مسئله انتخاب پرتفوی فازی، از سال ۱۹۹۰ مورد پژوهش قرار گرفته است. ژانگ ولیو، مسئله انتخاب پرتفوی چند دوره-ای با کنترل ورشکستگی را در محیط فازی بر اساس معیار اعتبار سنجی مورد مطالعه قرار دادند (Zhang and et al,2014). در حیطه بررسی‌های انجام شده، تعداد کمی از پژوهشگران مسئله انتخاب پرتفوی فازی چند دوره‌ای با کنترل ورشکستگی را مورد بررسی قرار داده‌اند.

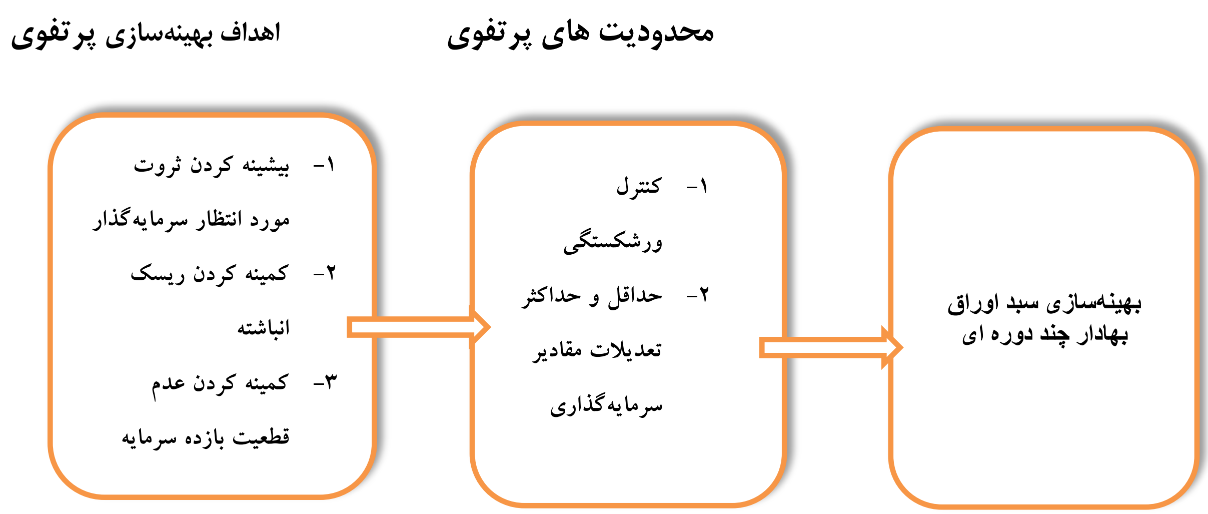
۲- روش‌شناسی پژوهش

مدل مفهومی پژوهش به صورت زیر است:

اگر سرمایه‌گذار بخواهد استراتژی سرمایه‌گذاری بهینه را با هدف حداکثرسازی ارزش خروجی و حداقل کردن مجموع وزنی ریسک سرمایه‌گذاری و عدم اطمینان بازده‌های پرتفوی در کل دوره سرمایه‌گذاری جستجو کند و همچنین ریسک ورشکستگی

[1] Genetic Algorithm
[2] Hybrid Particle Swarm Optimization (Hybrid PSO)

در هر دوره از سطح از پیش تعیین شده تجاوز نکند و مقدار سرمایه‌گذاری در هر دارایی در هر دوره محدودیت مرزی داده شده را تامین نماید، مدل مفهومی پژوهش برای بهینه سازی سبد اوراق بهادار چند دوره ای با کنترل ورشکستگی به صورت زیر خواهد بود:



شکل شماره (۱): مدل مفهومی پژوهش برای بهینه سازی سبد اوراق بهادار چند دوره‌ای با کنترل ورشکستگی (یانگ جو لی و همکاران،۲۰۱۶)

فرمول نویسی مدل ارائه شده برای بهینه‌سازی سبد اوراق بهادار چند دوره‌ای با کنترل ورشکستگی به صورت زیر است:

در این پژوهش مسئله انتخاب سبد اوراق بهادار چند دوره‌ای با کنترل ورشکستگی مورد توجه قرار گرفته است که سه هدف بهینه‌سازی عبارتند از:

۱-بیشینه‌سازی ثروت نهایی سرمایه‌گذار: ارزش مورد انتظار نهایی یک سرمایه‌گذار، بوسیله رابطه زیر محاسبه شده است:

رابطه ۱)

$$E(W_t) = W_0 + \left(\sum_{t=1}^{T} \sum_{i=1}^{n} [(a_{t,i} + \frac{\beta_{t,i} - \alpha_{t,i}}{4}) x_{t,i}^{+} - \sum_{i=1}^{n} c_{t,i} \left| E(\tilde{x}_{t,i}) \right| \right)$$

$x_{t,i}^{+}$: مقدار تعدیل دارایی مخاطره‌آمیز در دوره t؛ $\tilde{x}_{t,i}$: مقدار سرمایه‌گذاری دارایی مخاطره‌آمیز، در ابتدای دوره؛ $C_{t,i}$: نرخ هزینه معاملات دارایی مخاطره آمیز؛ W_t: ارزش سرمایه‌گذاری در انتهای دوره t که t=1,2,…,T می‌باشد. W_0: ارزش سرمایه‌گذاری در ابتدای دوره؛ $(a_{t,i}\ , \alpha_{t,i}, \beta_{t,i})$: اعداد فازی مثلثی و یا همان نرخ بازده دارایی i در دوره t می-باشد.

۲-کمینه کردن ریسک انباشته: واضح است که ریسک سرمایه‌گذاری یکی از فاکتورهای مهم است که سرمایه‌گذار با آن در ارتباط است. در این پژوهش از انحراف میانگین مطلق نرخ بازده پرتفوی به عنوان معیار سنجش ریسک استفاده شده است که به صورت زیر بیان شده است:

رابطه۲)

$$LAD(R_{p,t}) = E[\left|(R_{p,t} - E(R_{P,t}))^{-}\right|]$$

$R_{N,t}$: بازده پرتفوی می‌باشد.

مجموع وزنی انحراف میانگین مطلق در کل دوره سرمایه‌گذاری T به صورت زیر ارائه شده است:

رابطه ۳)

$V(x) = \sum_{t=1}^{T} \gamma_t \, LAD(R_{p.t})$

۳- کمینه کردن عدم قطعیت بازده‌های سبد اوراق بهادار در طول دوره سرمایه‌گذاری: به دلیل پیچیدگی بازارهای مالی واقعی، نرخ بازده دارایی پرمخاطره بوسیله تعداد زیادی از فاکتورهای غیر احتمالی تحت تاثیر قرار می‌گیرد. لی و لیو، آنتروپی فازی را بر اساس مفهوم توزیع اعتبار، به منظور محدود کردن عدم‌قطعیت یک متغیر فازی، تعریف کردند (Li and et al,2008) . در این پژوهش نیز این روش به منظور اندازه‌گیری عدم قطعیت انتخاب پرتفوی فازی چند دوره‌ای بکار گرفته شده است. عدم قطعیت بازده پرتفوی در دوره t به صورت زیر محاسبه شده است:

رابطه ۴)

$$H(R_{p,t}) = \frac{1}{2}\sum_{i=1}^{n} x_{t,i}^{+} \, (\alpha_{t,i} + \beta_{t,i}), \qquad t = 1,2,\dots,T$$

مجموع وزنی عدم‌قطعیت بازده پرتفوی در طول دوره سرمایه‌گذاری T به صورت زبر بیان شده است:

رابطه ۵)

$$H(x) = \sum_{t=1}^{T} v_t \, H(R_{p.t})$$

در این پژوهش دو محدودیت زیر به عنوان محدودیت‌های پرتفوی در نظر گرفته شده است:

۱-کنترل ورشکستگی: ورشکستگی زمانی که سرمایه‌گذار هیچ گونه ثروت مثبتی ندارد، رخ می‌دهد، بنابراین، لازم است که کنترل ورشکستگی برای انتخاب پرتفوی چند دوره ای مورد توجه قرار گیرد. بازده پرتفوی هر دوره یک متغیر فازی است، در این پژوهش از تئوری اندازه‌گیری اعتبار به منظور لحاظ کردن حادثه ورشکستگی فازی استفاده شده است. که به صورت زیر محاسبه شده است:

رابطه ۶)

$$\sum_{j=1}^{t} E[\left|\left(R_{N,j} - E(R_{N,j})\right)\right|^{-}] \le E(W_t)\vartheta_t, \quad t = 1,2,\dots,T$$

θ_t:ماتریس عکس العمل بازار در زمان t می باشد.

۲-حداقل و حداکثر تعدیلات مقادیر سرمایه‌گذاری در یک دارایی: در این پژوهش، فرض شده است که سرمایه گذار نیازمند تعدیل مقدار سرمایه‌گذاری در یک دارایی پرمخاطره مانند$i(i = 1,2,\dots,n)$است، که در دوره$t(t = 1,2,\dots,T)$نباید بیشتراز $100\lambda_t(\lambda_t \epsilon [0,1])$ باشد، λ_t درصد کل ارزش معامله در ابتدای دوره سرمایه‌گذاری t می‌باشد. بنابراین حداقل و حداکثر تعدیلات مقادیر سرمایه‌گذاری در یک دارایی پر مخاطره$i(i = 1,2,\dots,n)$ در دوره$t(t = 1,2,\dots,T)$ به صورت زیر بیان شده است:

رابطه ۷)

$$0 \le E(\tilde{x}_{t,i}^{+}) \le \lambda_t \sum_{i=1}^{n} E(\tilde{x}_{t,i}) \quad t = 1,2,\dots T; \quad i = 1,2,\dots,n.$$

این پژوهش در پی آن است که مدلی به صورت روابط مناسب ریاضی که اهداف و محدودیت‌های ذکرشده در مورد بهینه‌سازی سبد اوراق بهادار را تامین نماید، ارائه کند. مسئله P_1 در قالب روابط ریاضی می تواند به صورت مدل زیر ارائه شود:

$$
\begin{cases}
\max E(W_t) = W_0 + E(\sum_{t=1}^{T} R_{N,t}) \\
\min V(x) = \sum_{t=1}^{T} \gamma_t \, LAD\left(R_{p.t}\right) \\
\min H(x) = \sum_{t=1}^{T} v_t \, H(R_{p.t} \\
\mathrm{st} \sum_{j=1}^{t} E[\left|\left(R_{N,j} - E\left(R_{N,j}\right)\right)\right|^{-}] \leq E(W_t)\vartheta_t, t = 1,2,\dots,T \\
\sum_{i=1}^{n} E(\Delta\, \tilde{x}_{t,i}) + \sum_{i=1}^{n} C_{t.i}\left|E(\Delta\, \tilde{x}_{t,i})\right| = 0 \\
0 \leq E(\tilde{x}_{t,i}^{+}) \leq \lambda_t \sum_{i=1}^{n} E\left(\tilde{x}_{t,i}\right), t = 1,2,\dots T; i = 1,2,\dots,n.
\end{cases}
$$

مسئله P_1 بر حسب اعداد مثلثی فازی $(\alpha_{t,i}, a_{t,i}, \beta_{t,i})$ که $a_{t,i}$ کمترین بازده سهام، $\alpha_{t,i}$, میانگین بازده سهام و $\beta_{t,i}$ بیشترین بازده سهام، در طول دوره سرمایه‌گذاری می‌باشد، به شکل زیر، به صورت مسئله P_2 بیان شده است:

$$
(P_2) \quad
\begin{cases}
\max E(W_t) = W_0 + (\sum_{t=1}^{T} \sum_{i=1}^{n} [(a_{t,i} + \frac{\beta_{t,i} - \alpha_{t,i}}{4}) x_{t,i}^{+} - \sum_{i=1}^{n} c_{t,i} \left|E(\Delta\tilde{x}_{t,i})\right| \;). \\
\min V(x) = \sum_{t=1}^{T} \gamma_t \frac{\left[\sum_{i=1}^{n} x_{t,i}^{+} (3\beta_{t,i} + \alpha_{t,i})\right]^2}{64 \sum_{i=1}^{n} x_{t,i}^{+} \beta_{t,i}}, \\
\min H(x) = \frac{1}{2T} \sum_{t=1}^{T} \sum_{i=1}^{n} x_{t,i}^{+} \left(\alpha_{t,i} + \beta_{t,i}\right) \\
\mathrm{st} \frac{1}{64} \sum_{t=1}^{T} \frac{\left[\sum_{i=1}^{n} x_{t,i}^{+} (3\beta_{t,i} + \alpha_{t,i})\right]^2}{64 \sum_{i=1}^{n} x_{t,i}^{+} \beta_{t,i}} \leq \left\{W_0 + (\sum_{t=1}^{T} \sum_{i=1}^{n} [(\frac{4a_{t,i} + \beta_{t,i} - \alpha_{t,i}}{4}) x_{t,i}^{+} - \sum_{i=1}^{n} c_{t,i} \left|E(\Delta\tilde{x}_{t,i})\right| \;)\right\} \vartheta_t \;, \\
\sum_{i=1}^{n} E(\Delta\, \tilde{x}_{t,i}) + \sum_{i=1}^{n} C_{t.i} \left|E(\Delta\tilde{x}_{t,i})\right| = 0 \\
E(\Delta\bar{x}_{t,i}) = x_{t,i+} \Delta\bar{x}_{t,i} + \sum_{j=1}^{n} \Theta_{ij}(t-1) \left(\frac{4a_{t,i} + \beta_{t,i} - \alpha_{t,i}}{4} - \hat{r}_{t-1,j}\right) \\
1' = \Theta(t-1) = 0, \Theta(0) = 0 \\
x_{t,i}^{+} = x_{1,i+} \sum_{k=1}^{t} \left[\Delta\bar{x}_{t,i} + \sum_{j=1}^{n} \Theta_{ij}(k-1) \left(\frac{4a_{k,i} + \beta_{k,i} - \alpha_{k,i}}{4} - \hat{r}_{k-1,j}\right)\right] \\
E\left(\tilde{x}_{t,i}\right) = (1 + \frac{4a_{t,i} + \beta_{t,i} - \alpha_{t,i}}{4}) x_{t-1,i}^{+}, \\
0 \leq E(\tilde{x}_{t,i}^{+}) \leq \lambda_t \sum_{i=1}^{n} E\left(\tilde{x}_{t,i}\right), t = 1,2,\dots T; i = 1,2,\dots,n.
\end{cases}
$$

مسئله P_2 که در بالا ذکر شد یک مسئله بهینه‌سازی چند هدفه است که با مقداری ابهام مواجه است، زیرا اهداف آن در تعارض با هم هستند. بنابراین غیر ممکن است که یک جواب بهینه منحصر به فرد به صورت هم زمان برای هر ۳ هدف بدست آید. در

این پژوهش، از رویکرد برنامه نویسی فازی ارائه شده توسط زیمرمن (۱۹۷۸)، به منظور انتقال مسئله چند هدفه به یک مدل تک هدفه استفاده شده است. مراحل رویکرد برنامه نویسی فازی برای حل مدل پیشنهاد شده به صورت زیر خلاصه شده است:

مرحله اول: حل مدل (P_2) به عنوان یک مسئله تک هدفه، استفاده از تنها یک هدف در یک زمان و چشم پوشی کردن از دیگر اهداف. در این صورت ، راه حل های ایده آل و غیر ایده آل هر هدف می‌تواند بدست آید.

مرحله دوم: ساختن توابع عضویت در مورد ۳ هدف در (P_2)، به منظور بیان سطح آرمانی برای هر هدف به صورت زیر :

رابطه ۸)

$$\mu w_T(x) = \begin{cases} 0, & if \quad E(W_T) < E_0 \\ \frac{E(W_T)-E_0}{E_1-E_0} & if \quad E_0 \le E(W_T) < E_1 \\ 1, & if \quad E(W_T) \ge E_1, \end{cases}$$

رابطه ۹)

$$\mu_V(x) = \begin{cases} 1, & if \quad V(x) \le V_0 \\ \frac{V_1-V(x)}{V_1-V_0} & if \quad V_0 \le V(x) < V_1 \\ 0, & if \quad V(x) \ge V_1, \end{cases}$$

رابطه ۱۰)

$$\mu_H(x) = \begin{cases} 1, & if \quad H(x) \le H_0, \\ \frac{H_1-H(x)}{H_1-H_0} & if \quad H_0 \le H(x) < H_1, \\ 0, & if \quad H(x) \ge H_1, \end{cases}$$

که $H_1, H_0 : V_1, V_0 : E_1, E_0$ کمترین و بیشترین مقادیر مورد انتظار ارزش خروجی (نهایی)، ریسک خروجی و میانگین عدم قطعیت بازده پرتفوی در طول دوره سرمایه‌گذاری T را به ترتیب نشان می‌دهند.

مرحله سوم: استفاده از روش مجموع وزنی برای بیان اولویت سرمایه‌گذار برای هر هدف .

مسئله برنامه نویسی تک هدفه می تواند به شکل زیر به دست آید:

رابطه ۱۱)

$$(\mathrm{P_3}) \begin{cases} \max\ f(x) = \eta_1 \mu_{W_T}(x) + \eta_2 \mu_v(x) + \eta_1 \mu_H(x) \\ \mathrm{s.t}\ \ \mathrm{g_p(x)} \le 0, \mathrm{p} = 1,2, \dots, \mathrm{l}, \\ h_q(x) = 0, q = 1,2, \dots, m \\ \eta_1 + \eta_2 + \eta_3 = 1, \quad \eta_1 + \eta_2 + \eta_3 \epsilon [0,1] \end{cases}$$

در اینجا η_1, η_2, η_3 به ترتیب نشان دهنده ی اولویت وزن های اهداف بهینه‌سازی برای سرمایه‌گذار می‌باشند، η_1 وزن ارزش مورد انتظار خروجی، η_2 وزن ریسک انباشته، η_3 وزن عدم قطعیت بازده پرتفوی در طول دوره سرمایه‌گذاری بوده است.

باتوجه به این امر که مدل انتقال داده شده P_3 یک مسئله برنامه نویسی مالی پیچیده می‌باشد، اگر از الگوریتم‌های بهینه‌سازی سنتی استفاده شود، ممکن است در حل با شکست مواجه شود. در این مورد، لازم است که یک الگوریتم هوشمند برای حل مدل ارائه شده معرفی شود، الگوریتم بهینه‌سازی ازدحام ذرات (PSO[۳]) یک تکنیک بهینه‌سازی تصادفی برای حل مسئله‌های بهینه-سازی کلی می‌باشد، که در اصل بوسیله کندی و ابرهات ارائه شده است (Kennedy and et al,1995) . در این پژوهش با استفاده از الگوریتم PSO ترکیبی به حل مدل پیشنهاد شده پرداخته شده است. درPSO اصلی، یک جمعیت بوسیله یک ازدحام، ارائه می‌شود و افراد بوسیله یک ذره نشان داده می‌شوند. یک ازدحام در PSO شامل تعدادی از ذرات است. هر ذره در ازدحام بوسیله دو بردار سرعت و موقعیت کنترل می‌شود .به دلیل اینکه الگوریتم PSO از همگرایی زودرس رنج می‌برد. در این پژوهش از الگوریتم PSO ترکیبی استفاده می‌شود تا این نقص برطرف شود. ایده اصلی الگوریتم طراحی شده بدین صورت است که عملیات تقاطع و جهش الگوریتم ژنتیک (GA) به منظور به روز رسانی موقعیت و سرعت یک ذره وارد PSO اصلی شده است تا بدین ترتیب از همگرایی زودرس اجتناب شود و قابلیت جستجو افزایش یابد. از طرف دیگر، وزن اینرسی پویا و ضریب شتاب به منظور کنترل سرعت فرآیند به روز رسانی ذره، اضافه شده است(Yan and et al,2007)

۳-نتایج و بحث

در پژوهش حاضر تجزیه‌وتحلیل داده‌ها، با استفاده از نرم افزار متلب صورت گرفته است. فرض شده است که یک سرمایه‌گذار پرتفویی شامل ۱۷ نوع سهام، از سهام شرکت های برتر پذیرفته شده در بورس اوراق بهادار تهران دارد. ارزش پرتفوی موجود، (صد هزار ریال) W_0=۱۰۰۰۰۰ است که به طور میانگین به ۱۷ سهام تخصیص داده می‌شود. این سهام، با شماره‌های ۱،۲،۳،...،۱۷به ترتیب نامگذاری شده‌اند. اطلاعات مربوط به قیمت‌های نهایی روزانه از فرودین سال ۱۳۹۳ تا پایان اسفند سال ۱۳۹۵ سهام گردآوری شده است.

در این پژوهش هر سال، به عنوان یک دوره مشاهده در نظر گرفته شده است. بوسیله استفاده از رویکرد تخمینی ساده ژانگ و همکاران(Zhang and et al,2014). امکان توزیع نرخ‌های بازده ۱۷ نوع سهام به صورت روزانه، در هر دوره در جدول ۱ فهرست شده است. در این جدول نرخ بازده دارایی i در دوره t، به صورت اعداد فازی مثلثی $\xi = (\alpha_{t,i}, a_{t,i}\ , \beta_{t,i})$ می-باشد. که $a_{t,i}$ کمترین بازده سهام، $\alpha_{t,i}$, میانگین بازده سهام و $\beta_{t,i}$ بیشترین بازده سهام، در طول دوره سرمایه‌گذاری می‌باشد.

جدول شماره (۱): توزیع احتمال نرخ های بازده ۱۷ سهام در هر دوره

ردیف	سهام	t=1	t=2	t=3
۱	اخابر	(-۱۵/۴۲,-۸/۴۵,۶/۹۷)	(-۷/۶۲,۶/۶۴,۳۳/۵۰)	(۱۱/۶۳ ,۶/۲۸,-۵/۳۲)
۲	البرز	(-۳۲/۰۸,-۱۵/۶۴,۰/۵۶)	(-۱۴/۵۵,-۱/۴۴,۲۸/۵۸)	(۴۲/۴۳ ,۲۲/۲۶,-۱/۲۹)
۳	پارسان	(-۳۳/۹۸,-۱۸/۴۲,-۰/۵۲)	(-۱۱/۸۷,۱۴/۱۹,۴۳/۷۵)	(۸/۵۰,-۱۳/۷۵,-۲۳/۴۹)
۴	خاذین	(-۳۴/۴۴,-۶/۸۶,۳۶/۶۱)	(-۵۰/۷۳,-۱۹/۶۵,۲۵۸/۷۲)	(-۴۶/۳۲,-۲۴/۸۹,-۴۶/۳۲)
۵	خزامیا	(-۲۴/۷۲,۱/۹۱,۳۵/۷۶)	(-۳۸/۶۲,-۱۰/۶۲,۱۵۰/۰۶)	(-۵۶/۰۰,-۳۹/۱۴,-۴/۶۰)
۶	خکاوه	(-۲۶/۲۸,-۶/۷۲,۲۹/۸۳)	(-۳۵/۱۲,-۴/۹۶,۹۵/۵۱)	(-۵۸/۳۰,-۳۷/۰۴,-۴/۰۱)
۷	خودرو	(-۳/۵۸,۱۴/۵۶,۴۰/۸۰)	(-۳۸/۴۴,-۶/۱۹,۹۳/۹۶)	(-۴۵/۰۳,۳۰/۱۳,-۳/۰۸)
۸	دعبید	(-۷/۰۱,۲/۳۱,۱۲/۸۲)	(-۶/۱۷,۳۰/۳۲,۱۱۲/۰۲)	(۰/۱۱,۱۷۴/۳۸ ,۳۰۲/۳۹)
۹	ساینا	(۰/۰۰,۱۳/۳۴ ,۲۷/۵۶)	(۰/۰۰,۱۳/۳۴ ,۲۷/۵۶)	(۴/۹۹,۵۹/۲۹ ,۱۴۷/۹۲)
۱۰	سشپلی	(-۲۷/۳۴,-۴/۲۸,۳۲/۹۲)	(-۰/۵۳,-۷۸/۱۶,۳۱۶/۲۰)	(-۱۱/۲۶,۶/۸۸,۳۳/۶۲)
۱۱	سشرق	(-۵۴/۴۸,-۱۸/۹۱,۲۷/۲۴)	(-۲۸/۷۲,-۱۰/۵۹,-۱۴/۶۸)	(-۲۳/۸۰,-۷/۴۲,۱۳/۸۷)
۱۲	غپاک	(-۲۷/۳۳,-۱۰/۸۶,۲۳/۲۷)	(۹۴/۷۴ ,۱۲/۲۵,-۴/۷۵)	(-۲/۴۱,۲۲/۰۹,۶۵/۵۰)
۱۳	لکما	(-۷/۴۲,۱۵۹/۶۸,۵۵۸/۴۲)	(-۱۷/۷۳,۳۶/۱۸,۱۵۵/۲۷)	(-۴۳/۳۸,-۱۱/۸۸,۲۵/۶۴)

۱۴	مرقام	(-۳۸/۳۰,-۸/۶۰,۱۸/۳۴)	(۰/۰۶,۲۳/۱۵ ,۹۳/۲۱)	(-۱۱/۲۰,۴۳/۶۷,۱۴۳/۶۹)
۱۵	وملت	(-۳۹/۴۴,-۲۳/۳۸,۱/۱۶)	(-۱۱/۵۴,۱۲/۴۳,۱۱۲/۳۷)	(-۳۴/۹۰,-۱۸/۰۰,۴/۰۹)
۱۶	وپارس	(-۳۶/۸۴,-۲۰/۹۹,-۰/۱۲)	(-۲۸/۲۳,-۱۷/۲۷,۸/۹۴)	(-۲۵/۶۴,-۱۶/۳۶,۴/۷۸)
۱۷	دالبر	(-۱۳/۵۱,-۳/۵۵,۱۰/۶۶)	(۰/۳۴,۳۶/۳۸ ,۸۹/۴۰)	(-۵/۶۵ ,۲۳/۰۸ ,۳۴/۷۲)

در این پژوهش، بازده‌های واقعی پرتفوی در دوره‌های ۱و ۲ به ترتیب برابر مقادیر زیر در نظر گرفته شده اند:

$$\hat{r}(1) = (0.2200,02100,0.1968,-0.0831)$$

$$\hat{r}(2) = (0.1800,02400,-0.839,0.1886)$$

مفروضات بکار گرفته شده در این پژوهش، جهت حل مدل ارائه شده به شرح جدول زیر بوده است:

جدول شماره (۲): مفروضات بکار گرفته شده در پژوهش، جهت حل مدل ارائه شده

شرح	مقادیر بکار گرفته شده
سطوح ورشکستگی در ۳ دوره سرمایه گذاری	$\theta_1 = 0.1, \theta_2 = 0.15, \theta_3 = 0.20$
ضریب محدودیت حداکثر تعدیلات سرمایه‌گذاری در دوره t	$\lambda_1 = \lambda_1 = \lambda_1$=۰.۵
ضریب هزینه معاملات	$c_{i,t}$=۰.۰۰۳ برای همه مقادیر i=1,2,…,17 و t=1,2,3
ارزش پرتفوی موجود	W_0=۱۰۰۰۰(صد هزار ریال)

مقادیر پارامترها در الگوریتم طراحی شده، به شرح جدول زیر بوده است:

جدول شماره (۳): مقادیر پارامترها در الگوریتم طراحی شده

شرح	**مقادیر پارامترها**
اندازه جمعیت	pop-size=200
احتمال تقاطع	Pc=0.8
احتمال جهش	Pmio=0.1
نسل ماکزیمم	G_{max}=2000

به منظور شناسایی اولویت های وزنی تصمیمات مربوط به سرمایه‌گذاری، ۳ مورد مختلف زیر را با استفاده از جدول تحلیل حساسیت به عنوان وزن های اهداف بیشینه‌سازی پرتفوی مورد بررسی قرار گرفته است.

مورد ۱: در این حالت سرمایه‌گذار به کمینه کردن ریسک انباشته توجه بیشتری می‌کند و بیشینه کردن ارزش نهایی مورد انتظار سرمایه‌گذاری و کمینه کردن عدم قطعیت بازده پرتفوی در طول دوره سرمایه‌گذاری دارای اهمیت برابر برای سرمایه‌گذار می-باشد، این وضعیت همانند مورد دو هدفه است، در این مورد فرض می‌شود که اولویت‌های وزنی ۳ هدف تصمیم‌گیری به ترتیب برابر با: $\eta_1 = 0.15, \eta_2 = 0.7, \eta_3 = 0.15$ می‌باشند.

مورد ۲ :در این حالت سرمایه‌گذار به هر سه هدف بیشینه سازی سبد اوراق بهادارچند دوره‌ای، یعنی(بیشینه سازی ارزش مورد انتظار سرمایه‌گذاری، کمینه کردن ریسک انباشته و کمینه کردن عدم قطعیت بازده پرتفوی در طول دوره سرمایه‌گذاری)،اهمیت برابر قائل است و به هر سه هدف وزن برابر می‌دهد. که در این حالت,$\eta_i = \frac{1}{3}, (i = 1,2,3)$.

مورد ۳ :در این حالت فرض می‌شود که سرمایه گذار برای هر یک از اهداف بیشینه‌سازی وزن‌های متفاوت در نظر می‌گیرد، که وزن‌های مرجع سرمایه‌گذاری برای ۳ هدف بیشینه‌سازی به ترتیب برابر با $\eta_1 = 0.65, \eta_2 = 0.25, \eta_3 = 0.1$ قرار داده می‌شود.

در این پژوهش از الگوریتم PSO ترکیبی به منظور حل مدل استفاده می‌شود. در جدول ۴ با توجه به سه مورد استراتژی‌های سرمایه‌گذاری سرمایه‌گذار، در سه زمان مختلف مقادیر سرمایه‌گذاری در هر یک از ۱۷ نوع سهام مشخص شده است.

مقدار ارزش خروجی کل(TW[۴]) و سود خالص(NP[۵])، کل هزینه معاملات(TTC[۶])، برای هر کدام از سه مورد استراتژی سرمایه‌گذاری ذکر شده در بالا در کل دوره سه ساله محاسبه می‌شود تا سرمایه‌گذار بتواند تصمیم‌گیری مناسب را در مورد انتخاب وزن‌های اهداف بیشینه‌سازی انجام دهد.

همانطور که قبلا ذکر گردید، از آنجا که $r_{t,i} = (\alpha_{t,i}, a_{t,i}\,, \beta_{t,i})$ یک عدد فازی مثلثی برای $i = 1,2,\dots,n$ و $t = 1,2,\dots,T$ می‌باشد که سود خالص پرتفوی(NP)، در دوره t، بوسیله متغیرهای فازی مثلثی به شکل زیر مشخص شده است:

رابطه ۱۲)

$$R_{P,t} = \sum_{i=1}^{n} x_{t,i}^{+} r_{t,i} = \left(\sum_{i=1}^{n} x_{t,i}^{+} a_{t,i}, \sum_{i=1}^{n} x_{t,i}^{+} \alpha_{t,i}, \sum_{i=1}^{n} x_{t,i}^{+} \beta_{t,i}, \right).$$

هزینه کل معاملات(TTC)، در دوره t ، م بوسیله رابطه زیر محاسبه شده است:

رابطه ۱۳)

$$C_t = \sum_{i=1}^{n} c_{t,i} \left| E(\Delta \tilde{x}_{t,i}) \right|, \quad t = 1,2,\dots,T$$

که $E(\Delta\tilde{x}_{t,i}) > 0$ به معنای خرید دارایی مخاطره آمیز $E(\Delta\tilde{x}_{t,i})$ ، در دوره t توسط سرمایه‌گذار و $E(\Delta\tilde{x}_{t,i}) < 0$ به معنای فروش سرمایه‌گذار به خارج، در دوره t خواهد بود. $c_{t,i}$ ضریب هزینه معاملات است که برابر ۰/۰۰۳ در نظر گرفته شده است.

همچنین ارزش مورد انتظار خروجی کل (TW)، بوسیله رابطه زیر محاسبه شده است:

رابطه ۱۴)

$$E(W_t) = W_0 + (\sum_{t=1}^{T} \sum_{i=1}^{n} [(a_{t,i} + \frac{\beta_{t,i} - \alpha_{t,i}}{4}) x_{t,i}^{+} - \sum_{i=1}^{n} c_{t,i} \left| E(\Delta \tilde{x}_{t,i}) \right| \ ).$$

i مورد	t	سهام۱	سهام ۲	سهام۳	سهام ۴	سهام ۵	سهام ۶	سهام ۷	سهام ۸	سهام ۹	سهام۱۰
	۱	۲۰۳۶/۴۸	۱۱۴۲/۱	۵۲۳/۱۱	۲۹۱/۲۶	۷۶/۰۵	۹۰۱/۸	۰/۸۴	/۴۳ ۲۵۴۵	۱۰/۸۳	۰/۷۱
مورد۱	۲	۹۲۰/۰۱	۶۵۱/۷	۹۵۴/۳۶	۲۱۱/۵۸	۱۰۰۳/۸۳	۱۳۸/۶۱	۴۲۸/۵۴	۰/۷۸	۷۲/۰۶	۹۸/۴۵
	۳	۸۹۴/۱۴	۱۰۰۰/۶	۰/۵۴	۳۶۷/۹	۷۵۱/۹۴	۱۳۵۹/۰۷	۱۵۷/۳۱	۸۶/۵	۲۳/۱۴	۰/۶۷
	۱	۲۶۸۹/۲۱	۲۴/۶	۹۹۵	۰/۵۲	۴۵/۰۴	۱۵۸/۹۶	/۸۵ ۳۰۰۷	۱/۳۵	۵۲۱/۷۴	۳۲/۱۴
مورد۲	۲	۱۳۴۹/۲۷	۱۳۲۴/۰۳	۱۰۳۷/۹۵	۱۱۳۷/۲۵	۲۶/۵۴	۹۲۰/۰۱	۶۵۱/۷	۹۵۴/۳۶	۲۱۱/۵۸	۱۰۰۳/۸۳
	۳	۳۴۸۹/۱۸	۲۶۸/۴	۹۶۷/۲۷	۹۵/۰۳	۶۶/۸۹	۸۹۴/۱۴	۱۰۰/۶	۱۲/۹۴	۳۶۷/۹	۷۵۱/۹۴
	۱	۱۷۲۵/۳	۹۸/۰۴	۵۲۳/۷۴	۱۰۸/۴۶	۶۳۷/۱۵	۲۶۳۹/۲۱	۳۷/۲۲	۹۹۵	۰/۵۲	۹۶/۱۲
مورد۳	۲	۲۰۳۶/۴۱	۴۶۲/۸۷	۱۶۹/۸۴	۴۱۶/۸۶	۰/۲۶	۱۳۶۷/۲۵	۳۷۹/۶۱	۱۲۸/۰۸	۰/۷۶	۱۰/۳۵
	۳	۲۰۴۷۹	۱۴۹۱/۵	۸۰۱/۰۳	۲۰۷۶/۱۸	۱۱/۲۷	۶۲۱/۸	۰/۵۲	۵/۰۷	۲۰۱۶/۰۹	۸۳/۱

جدول شماره(۴): استراتژی های سرمایه گذاری ، ارزش خروجی (TW) سود خالص (NP) ، کل هزینه معاملات (TTC) بدست آمده بوسیله الگوریتم طراحی شده تحت الویت های مختلف(برحسب صد هزار ریال)

i مورد	t	سهام ۱۱	سهام۱۲	سهام ۱۳	سهام ۱۴	سهام ۱۵	سهام ۱۶	سهام ۱۷	TW	TTC	NP
	۱	۶۴۹/۲۱	۲/۱۷	۶۱/۹۸	۴۸۷/۱	۷۸۹/۰۵	۹۴/۶۲	۳۸۷/۱۳	۱۵۳۶۹	۷۱/۴۳	۵۲۹۷/۶۹
مورد۱	۲	۶۸۲/۴۹	۲۰۴۶/۷۲	۱۰۰/۵۱	۶۹۱/۲۸	۰/۱۳	۹۹۴/۰۳	۱۰۰۱/۰۱			

[4] -Total Wealth
[5] -Net Profit
[6] -Total Trancaction Cost

			۴۶۶/۲۱	۶۳۴/۸	۷۴۱/۶۲	۰/۳۴	۷۶۱/۲	۵۸۴/۱۶	۲۱۶۹/۷	۳
			۷۱۱	۱۰/۶۲	۱۰۰/۵۷	۷۴۹/۸۲	۱۳۹/۷۱	۸۵/۰۶	۷۲۶/۱	۱
۵۵۶۰/۴۹	۷۹/۳۶	۱۵۶۴۰	۰/۶۴	۶۱/۷۲	۱۰۰/۸۷	۹۶/۱۳	۸۲۶/۵۳	۹۵/۹۱	۲۰۱/۶۸	۲	مورد۲
			۱۵۱	۷۵۱/۹۴	۳۶۷/۹	۱/۵۴	۱۰۰۰/۶	۷۰۱/۱	۱۱/۰۸	۳
			۱۰۲۳/۱	۴۵/۰۴	۳۵۲	۹۹۴/۶۲	۲۴/۶	۱۵/۶۴	۶۸۴/۱۷	۱
۵۳۵۴/۱۱	۷۴/۶۸	۱۵۴۲۹	۱۰۳۶	۲۷/۵۴	۱۱۳۷/۲۵	۱۰۶۷/۹۵	۱۳۲۴/۰۳	۱۹۸/۷۴	۲۳۵/۹۵	۲	مورد۳
			۱۲۶/۱	۲۰۵/۱۲	۷۴/۶۲	۱۲/۸۱	۸۷۳/۵۶	۵۹۸/۱۵	۵۲۳/۶۸	۳

ادامه جدول شماره(۴): استراتژی های سرمایه گذاری، ارزش خروجی (TW) سود خالص (NP) ، کل هزینه معاملات (TTC) بدست آمده بوسیله الگوریتم طراحی شده تحت الویت های مختلف(برحسب صد هزار ریال)

اگر اولویت وزنی سرمایه‌گذار برای هر هدف به صورت مورد ۱ قرار داده شود، یعنی $\eta_1 = 0.15, \eta_2 = 0.7, \eta_3 = 0.15$ با مدل ارائه شده بوسیله الگوریتم طراحی شده، پارامترهای بهینه‌سازی می‌تواند به صورت زیر به دست آید. بردارهای تعدیلی اسمی پرتفوی در زمان های ۱،۲،۳ به ترتیب برابر مقادیر زیر قرار داده می‌شوند:

$$\Delta\bar{x}_1 = (1097.42, 712.46, -203.52, -1617.25)$$
$$\Delta\bar{x}_2 = (1964.65, -2016.74, -246.03, 271.42)$$
$$\Delta\bar{x}_3 = (935.58, -1024.19, 1217.80, -1154.30)$$

ماتریس عکس العمل بازار در دوره ۱و ۲ به ترتیب عبارتند از:

$$\Theta(1) = \begin{pmatrix} 16992.85 & 8418.58 & 0 & 0 \\ -1399.93 & -16429.45 & 0 & 0 \\ -201718.17 & -57706.41 & 0 & 0 \\ 186125.24 & 65717.28 & 0 & 0 \end{pmatrix}$$
$$\Theta(2) = \begin{pmatrix} 33117.99 & 8848.27 & 0 & 0 \\ -3247.97 & -1119.91 & 0 & 0 \\ 327809.77 & 95890.39 & 0 & 0 \\ -357679.78 & -103618.75 & 0 & 0 \end{pmatrix}$$

از جدول۴ می‌توان دریافت، در مورد ۱، مقادیر سرمایه‌گذاری در هر کدام از ۱۷ نوع سهام در دوره ۱ به ترتیب ۹۴/۳۸۷،۶۲/۱۳ ،...،۱/۱۱، ۲۰۳۶/۱۱۴۲،۴۸/۵۲۳(بر حسب صد هزار ریال) می‌باشد. در دوره ۲، مقادیر سرمایه گذاری در ۱۷ سهام به ترتیب ۹۹۴/۱۰۰۱،۰۳/۰۱ ،...،۹۵۴،۷/۳۶/۹۲۰/۶۵۱،۰۱(بر حسب صد هزار ریال) می باشد. در پایان دوره ۳(یعنی کل دوره سرمایه-گذاری)، مقدار کل ارزش خروجی ۱۵۳۶۹/۱۲(صد هزار ریال) است. در این حالت، سود خالص پرتفوی ۵۲۹۷/۶۹(صد هزار ریال) و هزینه کل معاملات ۷۱/۴۳ (صد هزار ریال) است.

اگر اولویت‌های وزنی سرمایه‌گذار برای هر هدف به صورت مورد ۲ در نظر گرفته شود، یعنی $\eta_i = \frac{1}{3}, (i = 1,2,3)$. با حل مدل بوسیله الگوریتم طراحی شده، بردارهای تعدیل اسمی پرتفوی در دوره های ۱،۲،۳ به ترتیب زیر خواهد بود:

$$\Delta\bar{x}_1 = (2203.96, 1181.39, -923.35, -2482.37)$$
$$\Delta\bar{x}_2 = (-3368.76, 91.66, -1242.52, 1475.00)$$
$$\Delta\bar{x}_3 = (2877.89, -2866.76, 1080.95, -1126.86)$$

ماتریس های عکس العمل بازار در دوره های ۱،۲ به ترتیب عبارتند از:

$$\Theta(1) = \begin{pmatrix} -2679.03 & -22419.80 & 0 & 0 \\ 8204.31 & -3104.69 & 0 & 0 \\ -16355.93 & -24206.48 & 0 & 0 \\ 10830.66 & 49730.98 & 0 & 0 \end{pmatrix}$$
$$\Theta(2) = \begin{pmatrix} 9298.27 & 7071.93 & 0 & 0 \\ -112415.65 & -76246.15 & 0 & 0 \\ 13653.56 & 234444.06 & 0 & 0 \\ 89463.82 & -165269.84 & 0 & 0 \end{pmatrix}$$

اگر اولویت وزنی سرمایه گذار برای هر هدف به صورت مورد۳ در نظر گرفته شود، یعنی $\eta_1 = 0.65, \eta_2 = 0.25, \eta_3 = 0.1$ باشد. با حل مدل پیشنهاد شده، بردارهای تعدیل اسمی پرتفوی در دوره های ۱،۲،۳ به ترتیب زیر خواهد بود:

$\Delta\bar{x}_1 = (2008.14, 675.00, -208.25, -249.04)$
$\Delta\bar{x}_2 = (1365.30, -1722.69, -1651.20, 1984.42)$
$\Delta\bar{x}_3 = (848.69, -1362.09, -126.30, 616.13)$

ماتریس های عکس العمل بازار در دوره های ۱،۲ به ترتیب عبارتند از:

$$\Theta(1) = \begin{pmatrix} 31225.56 & -11185.99 & 0 & 0 \\ -2895.69 & -515.34 & 0 & 0 \\ -68327.19 & -13299.10 & 0 & 0 \\ 39997.31 & 25000.43 & 0 & 0 \end{pmatrix}$$

$$\Theta(2) = \begin{pmatrix} 22193.15 & 12057.76 & 0 & 0 \\ -13426.31 & -2290.55 & 0 & 0 \\ 68546.38 & 387706.84 & 0 & 0 \\ -77313.21 & -397474.06 & 0 & 0 \end{pmatrix}$$

بدیهی است در حالتی که در کل دوره سرمایه‌گذاری ارزش خروجی کل و سودخالص بیشتر و همچنین هزینه معاملات کل کمتری حاصل شود، نسبت به بقیه حالات سرمایه‌گذاری مناسب‌تر است.

با توجه به جدول ۴،در مورد ۲، در پایان دوره ۳(یعنی کل دوره سرمایه‌گذاری)، مقدار کل ارزش خروجی ۱۵۶۳۹/۸۵(صد هزار ریال)، سود خالص پرتفوی ۵۵۶۰/۴۹(صد هزار ریال) و هزینه کل معاملات ۷۹/۳۶ (صد هزار ریال) است. در نتیجه در کل دوره سرمایه‌گذاری سه ساله بیشترین ارزش خروجی، بیشترین سود خالص و بیشترین هزینه معاملات نسبت به موارد ۱و ۳ ایجاد شده است. بنابراین اگر سرمایه‌گذار بخواهد بر اساس سود خالص پرتفوی در کل دوره سرمایه‌گذاری و ارزش خروجی کل در طول دوره سرمایه‌گذاری تصمیم‌گیری نماید، مورد ۲ برای انتخاب وزن‌های اهداف بهینه‌سازی سبد اوراق بهادار چند دوره‌ای مناسب‌تر خواهد بود. یعنی دادن وزن‌های برابر به سه هدف بهینه‌سازی(ارزش مورد انتظار خروجی، ریسک انباشته و عدم قطعیت بازده پرتفوی) $\eta_i = \frac{1}{3}, (i = 1,2,3)$.

به‌منظور نشان دادن مؤثر بودن الگوریتم طراحی شده، از الگوریتم HGAPSO(ترکیب الگوریتم ژنتیک و الگوریتم بهینه‌سازی ازدحام ذرات)،(Yan and et al,2007) و الگوریتم HGASA (ترکیب الگوریتم ژنتیک و الگوریتم تبرید شبیه‌سازی‌شده)، به‌منظور حل مدل پیشنهاد شده، برای ۳ مورد تصمیم‌گیری فوق‌الذکر استفاده‌شده است. هر ۳ الگوریتم، ۱۰۰۰ بار متوالی اجرا شده است. مقادیر میانگین بهترین هدف‌های به‌دست آمده (ABOV)، میانگین زمان اجرا(ART) و قدر مطلق انحراف از میانگین بهترین هدف (AAD)، برای ۳ الگوریتم مختلف برای حل مدل پیشنهادشده در جدول ۵ جهت مقایسه، ارائه شده است.

جدول شماره (۵): نتایج مقایسه‌ای درباره ABOV، ART، ADD برای الگوریتم‌های مختلف که واحد زمان برای اجرا ثانیه بوده است

الگوریتم PSO ترکیبی	HGASA	HGAPSO	شاخص	مورد i
۰/۹۵۹۱	۰/۹۳۷۹	۰/۹۲۶۷	ABOV	
۸۹/۲۱	۱۵۷/۲۶	۶۹/۳۴	ART	مورد ۱
۰/۸۷	۱/۴۸	۱/۱۲	AAD	
۰/۹۵۲۳	۰/۹۳۰۱	۰/۹۱۹۳	ABOV	
۷۵/۴۸	۱۴۵/۰۳	۶۸/۲۴	ART	مورد ۲
۱/۲۶	۱/۴۱	۱/۹۵	AAD	
۰/۹۳۶۵	۰/۹۳۱۴	۰/۹۰۸۷	ABOV	
۶۷/۴۱	۱۴۱/۵۳	۵۸/۳۸	ART	مورد ۳
۰/۹۵	۱/۱۲	۱/۷۸	AAD	

هر الگوریتمی که نسبت به بقیه الگوریتم‌ها، مقادیر میانگین بهترین هدف‌های به‌دست‌آمده (ABOV) بیشتر و میانگین زمان اجرا (ART) کمتر و قدر مطلق انحراف از میانگین بهترین هدف (AAD) کمتری داشته باشد، نسبت به دیگر الگوریتم‌ها برای حل مدل ارائه‌شده در پژوهش مناسب‌تر خواهد بود.

با استفاده از نتایج جدول ۵، می‌توان دریافت که الگوریتم پیشنهادشده توسط این پژوهش (الگوریتم PSO ترکیبی)، نسبت به دو الگوریتم مقایسه‌ای HGAPSO و HGASA، مقادیر میانگین بهترین هدف (ABOV) بیشتری داشته است. ازلحاظ میانگین زمان اجرا، الگوریتم PSO ترکیبی ارائه‌شده توسط این پژوهش، نسبت به الگوریتم HGASA مرجح تر بوده است، زیرا نسبت به این الگوریتم میانگین زمان اجرای کمتری را داشته است. همچنین الگوریتم PSO ترکیبی، نتایج بهتری نسبت به الگوریتم‌های HGAPSO و HGASA، در مورد دقت محاسبه و همگرایی (قدر مطلق انحراف از میانگین بهترین هدف (AAD) ارائه داده است. بر اساس تحلیل بالا، می‌توان نتیجه گرفت که الگوریتم طراحی‌شده در پژوهش (الگوریتم PSO ترکیبی)، مؤثرتر از ۲ الگوریتم دیگر برای حل مدل پیشنهادشده بوده است.

٤- منابع

1-Alimi, A, & Zandieh, M & Amiri,M .(2012). Multi-objective portfolio optimization of mutual funds under downside risk measure using fuzzy theory, *Int. J. Ind. Eng. Computr*. 3(1): 859–872.

2-Oysu, C & Bingul, Z. (2009). Application of heuristic and hybrid-GASA algorithms to tool-path optimization problem for minimizing airtime during machining, *Eng. Appl. Artif.Intell*. 22 (3):389–396.

3-Li, C.J & Li, Z.F .(2012). *Multi-period portfolio optimization for asset-liability management with bankrupt control*, *Appl. Math. Comput*, 218(5): 11196–11208.

4-Goldberg, D.E.(1989). Genetic Algorithms in Search, Optimization, and Machine Learning, *Addison-Wesley, Reading*, 32(7):354-378.

5-Li, D .(2000). Optimal dynamic portfolio selection: multiperiod mean-variance formulation, *Math. Financ*e, 10(7): 387–406.

6-Calafiore, G.C. (2008). Multi-period portfolio optimization with linear control policies, Automatica, 44(20): 2463–2473.

7-Zimmermann, H.J. (1978). Fuzzy programming and linear programming with several objective functions, *Fuzzy Sets Syst*, 1(3): 45–55.

8-Kennedy, J &. Eberhart, R.C.(1995). *Particle swarm optimization, in: Proceedings of the IEEE Conference on Neural* Networks, *IV, Poscataway, NJ*, 12(4):1942–1948.

9-Tsai, J.T & Chou, J.H& Liu, T.K(2006). Tuning the structure and parameters of a neural network by using hybrid Taguchi-genetic algorithm, *IEEE Trans. Neural Netw*, 17(8): 69–80.

10-Zadeh, L.A. (1965) *Fuzzy sets*, Inf. Control, 338–353

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

11-Gharakhani M &. Sadjadi, S.J. (2013). A fuzzy compromise programming approach for the Black-Litterman portfolio selection model, *Decis. Sci. Lett*, 5(1): 11–22.

12-Hakansson, N. (1971). Multi-period mean-variance analysis: toward a general theory of portfolio choice, J. *Financ*, 26(12): 857–884.

13-Li, P.K & Liu, B.D(2008). Entropy of credibility distributions for fuzzy variables, IEEE Trans. *Fuzzy Syst*, 16(5): 123–129.

14- Rahnamay Roodposhty.F & Chavoshi,K & Ebrahim.S(2013).Optimization of portfolio Constituted from mutual funds of Tehran stock exchange using genetic algorithm, *Journal Management System*, 3(12):217-232.

15-Yan, W & Miao, R.&. Li, S.R. (2007). *Multi-period semi-variance portfolio selection: model and numerical solution*, *Appl. Math. Comput*, 194 (23): 128–134.

16-Li, X.&. Zhou, X.Y & Lim, A.E.B.(2002). Dynamic mean-variance portfolio selection with no-shorting constraints, *SIAM J. Control Opt*, 40(9): 1540–1555.

17-Zhang, Y.J & Liu. (2014). Credibilitic mean-variance model for multi-period portfolio selection problem with risk control, OR Spectr, 36(14): 113–132.

18-Zhou, A.E.B & Lim. (2004). Dynamic mean-variance portfolio selection with no-shorting constraints, *SIAM J. Control Opt*, 40(20): 1540–1555.

Presentation a model for Crediblistic multi-period Portfolio Optimization Model whit bankruptcy Control

Abstract

In this research, a mathematical model has been presented for optimizing multi-period portfolios with a bankruptcy control approach. The goals of optimizing the multi-period portfolios include: maximizing the expected outflow of the investor, Minimizing accumulated risk, Minimizing the uncertainty of the portfolio's returns during the investment period, that achievement of these three objectives has been evaluated by two limits of bankruptcy control and the maximum and minimum adjustments of investment amounts during the investment period. The Hybrid Particle Swarm Optimization (Hybrid PSO) algorithm has been considered as the proposed solution for solving the model and a practical example has been presented to illustrate the application of the proposed model, which includes a portfolio with 17 different types of stocks from the companies listed in Tehran Stock Exchange For the three-year period from 2014 to 2016, the daily returns of these companies have been used as inputs for the model. Three different modes for the weights of the goals of optimizing the portfolio of multi- period portfolios have been determined using the sensitivity analysis table. In the end, the state of investment, which the investor equates to all three goals of optimizing the weight, has been the most suitable state for optimizing a multi-period of portfolios. The results have been compared with other algorithms Experimental results have shown that the algorithm proposed by this research for solving the model has been more appropriate than other algorithm.

Key words: accumulated risk, bankruptcy control, expected value of investor, Multi-period portfolio optimization, portfolio uncertainty.