

رویکرد فازی در بهینه‌سازی سبد سهام بورس اوراق بهادار با محدودیت‌های منعطف

حسین خنجرپناه^۱، میرسامان پیشوایی^{۲*}، آرمین جبارزاده^۲

۱- دانشجوی دکتری، دانشگاه علم و صنعت ایران، دانشکده مهندسی صنایع، تهران، ایران

۲- استادیار، دانشگاه علم و صنعت ایران، دانشکده مهندسی صنایع، تهران، ایران

رسید مقاله: ۲۷ اردیبهشت ۱۳۹۵

پذیرش مقاله: ۲۲ مهر ۱۳۹۵

چکیده

مسئله انتخاب سبد سهام همواره یکی از موضوعات جذاب و کاربردی در مسایل مالی و بازارهای مالی بوده است. انتخاب یک سبد بهینه برای رسیدن به حداکثر سود در حالی که ریسک آن نیز پایین باشد، همواره مورد توجه سرمایه‌گذاران بازارهای مالی بوده است. در این مقاله ابتدا یک مدل جدید منطقی و کاربردی برای بهینه‌سازی سبد سهام ارائه می‌شود که این مدل دارای محدودیت‌های انعطاف در وزن سهام است که حد مشخص و ثابتی را برای وزن سهام در سبد تعیین نمی‌کند و همچنین تعداد سهام در یک سبد دارای محدودیت است. سپس رویکرد فازی برای برخورد با عدم قطعیت بازده سهام، به کار گرفته می‌شود و مدل ارائه شده با هر دو برنامه‌ریزی منعطف و امکانی که از روش‌های زیرمجموعه برنامه‌ریزی فازی هستند، به یک مسئله ساده تبدیل می‌شود. مدل ارائه شده برای ارزیابی، تست کارایی و منطقی بودن آن بر روی نمونه‌ای از بازده یک ماهه شرکت‌های پذیرفته شده در بورس اوراق بهادار تهران اجرا شد و نتایج حاصل از آن ارائه گردید. نتایج حاصله نشان داد که در سطح اطمینان پایین‌تر می‌توان با ریسک کم‌تر، سود بالاتری را از سبد سهام انتخاب شده به دست آورد.

کلمات کلیدی: بهینه‌سازی سبد سهام، برنامه‌ریزی ریاضی فازی، بورس اوراق بهادار تهران، برنامه‌ریزی آرمانی.

۱ مقدمه

مسایل مالی، مانند مسئله انتخاب سبد سهام از جمله مسایل جذاب در زمینه برنامه‌ریزی در عدم قطعیت هستند. در سال‌های اخیر شاهد افزایش مطالعات در حوزه مالی بوده‌ایم که در انتخاب سبد سهام و مدیریت آن نیز تحقیقات گسترده‌ای انجام شده است و روش‌های مختلفی برای انتخاب سهام ارائه گردیده است. مطالعه سبد سهام از آن جهت دارای اهمیت است که با سودآوری ارتباط دارد و ارائه یک مدل بهتر برای انتخاب سبد، می‌تواند منجر به سود بالاتر شود. اولین مدل برای مسئله سبد سهام توسط مارکوویتز [۱] ارائه شد. او بیان کرد که یک سرمایه‌گذار

* عهده‌دار مکاتبات

آدرس الکترونیکی: pishvae@iust.ac.ir

منطقی فقط بر روی ماکزیمم کردن بازده سبد سهام دقت نمی‌کند؛ بلکه علاوه بر بازده به ریسک آن نیز توجه دارد. در مدل مارکویتز، ریسک به وسیله واریانس بازده تاریخی اندازه‌گیری می‌شود؛ بنابراین با توجه به موارد ذکرشده، دو هدف برای سرمایه‌گذاران از تشکیل سبد سهام شکل می‌گیرد که این مساله سبد سهام را به یک مساله چندهدفه تبدیل می‌کند.

آن چیزی که شرایط را در حل مسایل دشوار می‌کند وجود عدم قطعیت در مسایل است. عدم قطعیت را می‌توان عدم اطلاع کامل درباره رخدادهای آینده توصیف کرد که می‌توان با جمع‌آوری اطلاعات آن را کم کرد؛ اما نمی‌توان آن را حذف نمود. وقوع بحران اقتصادی در سال ۲۰۰۸ باعث شد تا عدم قطعیت در مسایل مالی اهمیت خاصی پیدا کند و مطالعات فراوانی در زمینه مقابله با عدم قطعیت در این مسایل انجام گرفت. مساله انتخاب سبد سهام نیز از جمله مسایلی است که در شرایط عدم قطعیت بررسی می‌گردد، چون سرمایه‌گذار نمی‌تواند میزان دقیق بازدهی یک سهام را پیش‌بینی کند. وجود هر نوع عدم قطعیت در مدل‌سازی بازارهای مالی و عوامل موثر بر آن موجب بروز مقداری ریسک در فرآیند تصمیم‌گیری می‌شود. ریسک‌های مختلفی در عملکردهای مالی بسیار متنوع بوده که از جمله این ریسک‌ها می‌توان به ریسک بازار، ریسک عملیاتی، ریسک سیاسی، ریسک نقدینگی و ریسک مدل اشاره کرد. رویکردهای برخورد با عدم قطعیت در ادبیات محدود بوده و می‌توان از آن میان به برنامه‌ریزی فازی و استوار در این زمینه اشاره کرد.

وجود اطلاعات فراوان و عوامل تاثیرگذار دیگر، تصمیم‌گیری فردی جهت انتخاب سبد سهام مناسب را سخت می‌کند، تا آن‌جا که اغلب افراد معیار خود جهت تصمیم‌گیری در مورد انتخاب سهام را، به میزان حجم صف‌های خرید و فروش، اخبار و شایعات شنیده شده در بازار و مسایلی از این دست تقلیل داده‌اند. این حجم انبوه از اطلاعات و استفاده از آن در بهبود تصمیم‌گیری از موضوعات سخت است. تنوع روش‌های سرمایه‌گذاری و پیچیدگی تصمیم‌های مزبور در چند دهه اخیر افزایش چشم‌گیری داشته است. این رشد گسترده، نیاز فزاینده‌ای به مدل‌های فراگیر و یکپارچه ایجاد نموده است [۲]. در این‌جا یک مدل منطقی جدید ارایه می‌گردد که در آن محدودیت‌های کاربردی که سرمایه‌گذاران همواره آن‌ها را در نظر می‌گیرند به مدل افزوده شده است که از جمله آن می‌توان به محدودیت‌های انعطاف در وزن سهام و تعداد سهام در سبد اشاره کرد.

در این مقاله، ابتدا در بخش ۲، مبانی نظری پژوهش عنوان می‌شود و همچنین تحقیقات گذشته در این زمینه نیز در این بخش مرور می‌شود. در بخش ۳، روش شناسی پژوهش ارایه شده است که ابتدا مقدماتی در مورد روش فازی و سپس به انواع برنامه‌ریزی ریاضی فازی اشاره شده است. نتایج تحقیق در بخش ۴ ارایه شده است و نهایتاً در بخش ۵، نتیجه‌گیری و تحقیقات آینده بیان شده است.

۲ مبانی نظری و پیشینه تحقیق

یک سبد سهام مجموعه‌ای از دارایی‌های مالی هستند. سبدهای سهام توسط افراد و سازمان‌های مختلفی نظیر بانک و صندوق‌های سرمایه‌گذاری تشکیل و مدیریت می‌شود. بعد از آن که مارکویتز مدل اولیه سبد سهام را ارایه

کرد، واریانس به عنوان عامل غیرمطلوب و بازده به عنوان عامل مطلوب شناخته شد. عوامل دیگری نیز در انتخاب سهام تاثیر دارند که از جمله آن‌ها می‌توان به زمان و اهداف سرمایه‌گذاری اشاره کرد. اگر بخواهیم نحوه کار مدل مارکویتز را به صورت ریاضی بیان کنیم، با فرض اینکه $r(i), i = 1, \dots, k$ بازده سهام، $\sigma(i, j), i, j = 1, \dots, k$ کواریانس بین دو سهم و $x(i), i = 1, \dots, k$ وزن سهم در سبد باشد، مدل سبد سهام به گونه‌ای $x(1), \dots, x(n)$ را انتخاب می‌کند که

$$\sum_{i=1}^k x(i) = 1, 0 \leq x(j) \leq 1,$$

و بازده سبد ماکزیمم گردد:

$$r_v = \sum_{i=1}^k r(i)x(i),$$

و همچنین ریسک سبد مینیمم شود:

$$\sigma_v = \sum_{i=1}^k \sum_{j=1}^k x(j)x(i)\sigma(i, j).$$

هدف اصلی این مدل، بیشینه کردن بازده برای سطح مشخصی از ریسک و یا کمینه کردن ریسک به ازای سطح خاصی از بازده می‌باشد. به طور کلی بهینه‌سازی یک سبد سهام باید این موارد را برای ما مشخص کند: چه سهم‌هایی باید داخل سبد باشند، وزن سهم‌های داخل سبد چقدر است و بازده و ریسک حاصل از سرمایه‌گذاری چگونه است.

از طرفی، بر اساس نظریه نوین سبد سهام، ریسک را می‌توان به دو بخش تقسیم کرد: ۱. ریسک سیستماتیک که به کل بازار مربوط است و ۲. ریسک غیرسیستماتیک که به شرایط خاص هر سهم بستگی دارد [۳]. بنابراین، در تشکیل سبد سهام مشخص است که سرمایه‌گذاری روی سهم‌های مختلف به صورتی که کواریانس بازده آن‌ها کم باشد، می‌تواند به کاهش ریسک سیستماتیک سبد سهام کمک کند. همچنین مشهود است که با تنوع^۱ و افزایش تعداد سهام می‌توان ریسک غیرسیستماتیک سبد سهام را کاهش داد [۴].

مدل مارکویتز، هسته اصلی تحقیقات بسیاری در این حوزه قرار گرفته است. از لحاظ ریاضیاتی، مدل مارکویتز یک مدل ساده به شمار می‌آید؛ اما برتری و مزیت اصلی آن قابلیت اضافه کردن محدودیت‌ها برای بررسی شرایط واقعی بازار است [۵]. در این مقاله نیز، محدودیت‌های واقعی به این مدل بهینه‌سازی اضافه می‌شوند. یکی از محدودیت‌هایی که سرمایه‌گذاران به آن توجه دارند، تعداد سهام موجود در سبد است و ترجیح می‌دهند که تعداد محدودی سهم در سبد داشته باشند [۵]. مساله سبدسهم بدون محدودیت بر روی تعداد سهام امکان دارد که تمام سرمایه را روی یک سهم قرار دهد که در این صورت ریسک غیرسیستماتیک سبد سهام بسیار بالا می‌رود و همچنین از طرفی دیگر، امکان دارد که تنوع و تعداد بسیار زیادی از سهم‌های بازار را در سبد سهام قرار دهد که این حالت نیز برای ما مساعد نیست؛ زیرا افزایش بیش از حد تعداد سهام باعث کاهش تمرکز

^۱ Diversification

سرمایه‌گذار بر روی سبد خود می‌شود. لذا به دلایلی که گفته شد، خبرگان و مدیران سرمایه‌گذاری همواره تاکید دارند که تعداد مشخصی (معمولاً ۳ یا ۴) از سهام در سبد سرمایه‌گذاران حقیقی وجود داشته باشد.

با توجه به افزایش محدودیت تعداد سهم در سبد سهام مورد بررسی، وزن سهم‌های موجود در سبد نیز برای ما دارای اهمیت است. بدین صورت باید محدودی برای حداقل و حداکثر وزن سهام در سبد تعیین گردد؛ زیرا در صورت عدم تعیین این حدود امکان دارد حجم بسیار بالایی از سبد به یک سهم تعلق بگیرد که در این شرایط نیز ریسک غیرسیستماتیک افزایش می‌یابد؛ بنابراین مدیران سرمایه‌گذاری همواره تاکید دارند که حدهایی را برای وزن هر سهم موجود در سبد تعیین کنیم. از طرفی دیگر، انعطاف‌پذیر بودن این محدودیت‌ها امری ضروری به نظر می‌رسد، زیرا همواره استثنا وجود دارد و امکان دارد که تجاوز از این حدود بالا و پایین به نفع سهامدار باشد؛ بنابراین منعطف کردن محدودیت‌ها و اجازه دادن به تخطی از این حدود امری معقول و کاربردی می‌باشد که در این مقاله انجام گرفته است.

در زمینه بهینه‌سازی سبد سهام تحقیقات گسترده‌ای صورت گرفته است و روش‌های بسیاری برای بهینه‌سازی آن پیشنهاد شده است. افشارکاظمی و همکاران [۶]، روشی را با تلفیق روش‌های تحلیل پوششی داده‌ها و برنامه‌ریزی آرمانی، برای انتخاب سبد سهام در بورس اوراق بهادار تهران پیشنهاد داده‌اند. خدامرادی و همکاران [۷]، در پژوهشی به ارایه یک رویکرد دومرحله‌ای ریاضی برای انتخاب سبد سهام پرداختند که در آن هدف عملیاتی ساختن تحلیل بنیادی در انتخاب سهام بود. در این پژوهش ابتدا با رویکرد تحلیل سلسله‌مراتبی اولویت عوامل موثر در انتخاب صنایع تعیین شد و سپس با حل مدل برنامه‌ریزی خطی، اوزان صنایع با توجه به محدودیت‌های آن‌ها به دست آمد. در نهایت هم اوزان مربوط به سهام در صنعت با به کارگیری مدل برنامه‌ریزی آرمانی مشخص شد. تکنیک تاپسیس^۱ نیز در [۲] استفاده شده است. الگوریتم‌های فراابتکاری نیز در بهینه‌سازی سبد سهام روش‌های کارایی هستند. درخشان و همکاران [۸]، روشی مبنی بر ترکیب دو روش بهینه‌یابی اجتماع مورچگان و شبیه‌سازی تبرید-تدریجی پارتو پیشنهاد داده‌اند. همچنین برای اعتبارسنجی روش پیشنهاد شده، عملکرد آن در بورس اوراق بهادار تهران با چند روش فراابتکاری دیگر مقایسه شد که نتایج به دست آمده حاکی از برتری روش پیشنهادی بوده است. از دیگر کارهایی که با الگوریتم فراابتکاری انجام شده است می‌توان به [۹] و [۱۰] اشاره کرد که از الگوریتم ژنتیک برای انتخاب سبد سهام استفاده کرده‌اند. در برخی مطالعات بیش از دو هدف برای مساله سبد سهام در نظر گرفته می‌شود که از جمله این تحقیقات می‌توان به [۱۱] اشاره کرد. در تحقیق دیگری خیام و همکاران [۱۲] یک مدل چندهدفه فازی برای به روز رسانی سبد سهام با در نظر گرفتن هزینه‌های معاملات، معرفی کردند. نتایج نشان داد که مدل ارایه شده عملکرد بهتری نسبت به شاخص بازار از خود نشان داده است. این تحقیقات، نمونه‌ای از مطالعاتی بود که در داخل کشور در زمینه انتخاب سبد سهام انجام گرفته‌اند؛ اما مساله سبد سهام در تحقیقات خارجی نیز جایگاه ویژه‌ای دارد. دنگ و ژائو [۱۳] به ارایه برخی روش‌های تمرینی برای به دست آوردن جواب‌های دقیق برای مدل مارکویتز در بازده مقادیر ریسک پرداخته‌اند.

^۱ Technique for Order Preference by Similarity to Ideal Solution (TOPSIS)

در بیشتر مطالعات فوق، محدودیت‌های تعداد سهم و حدود بالا و پایین برای وزن هر سهم در مدل آورده نشده است. بدین ترتیب، می‌توان بیان کرد که این مطالعات توجهی به کاربردی بودن محدودیت‌های مدل نداشته‌اند و آنچه مطلوب سرمایه‌گذار است در نظر نگرفته‌اند. همچنین این مطالعات توجهی به ریسک غیرسیستماتیک در سبد سهام نداشته‌اند. از بین مقالات فوق، فقط در مقاله خدامرادی و همکاران [۴] شاهد آن بوده‌ایم که این محدودیت‌ها در مدل لحاظ شده‌اند؛ اما در کار آن‌ها نیز، بیش‌تر محدودیت‌ها به نسبت‌های اهرمی و مباحث تحلیل بنیادی پرداخته شده است که امکان دارد برای سرمایه‌گذاران که دانش زیادی در این زمینه نداشته باشند، نامفهوم باشد و همچنین شرط منعطف بودنی برای محدودیت‌ها در نظر نگرفته‌اند.

در سال‌های اخیر، توجه بیش‌تری به برنامه‌ریزی فازی برای روبرویی با عدم قطعیت، جلب شده است. تئوری مجموعه فازی برای اولین بار توسط زاده [۱۴]، ارائه گردید. لیو و ژانگ [۱۵] یک مدل بهینه‌سازی سبد سهام در محیط فازی را در نظر گرفتند که در این مطالعه بازده سهام و حجم معاملات به عنوان متغیرهای فازی در نظر گرفته شدند. همچنین ژانگ و ژانگ [۱۶] نیز یک مدل چند هدفه فازی سبد سهام را مطالعه کردند که این مدل تلاش می‌کند تا ثروت نهایی را با کنترل ریسک حداکثر کند. در این تحقیق مقادیر بازده سهام با استفاده از مقادیر میانگین امکانی به دست آمده و کنترل ریسک هم از انحراف استاندارد امکانی ایجاد شده است. در این تحقیق همچنین هزینه معاملات و محدودیت‌های تعداد سهام در مدل لحاظ شده‌اند. هوانگ [۱۷] به بررسی انتخاب سبد سهام در حالت عدم قطعیت در زمانی که داده‌های تاریخی نمی‌توانند به خوبی بازده‌های سرمایه را مشخص کنند، پرداخت. در این تحقیق او یک نمودار ریسک را معرفی کرد و مدل میانگین-ریسک را توسعه داد. ژو و همکاران [۱۸] تکنیک‌های سری زمانی فازی را با بهینه‌سازی سبد سهام ترکیب کردند. آن‌ها تکنیک سری زمانی فازی را به عنوان یک روش مناسب و کارا در زمینه داده‌های مالی معرفی کردند و نتایج حاصل از تحقیق آن‌ها نشان‌دهنده کارایی مدل پیشنهادی بود. تحقیقات بسیاری در زمینه برنامه‌ریزی فازی سبد سهام صورت گرفته است و روش‌های بسیار زیادی برای بهینه‌سازی آن پیشنهاد شده است که از جمله این تحقیقات می‌توان به [۱۹-۲۱] اشاره کرد.

با توجه به پیشینه تحقیق، به ندرت شاهد آن هستیم که به ترجیحات سرمایه‌گذار اهمیت داده شده باشد و بیشتر مقالات محدودیت‌های کاربردی که در دنیای واقعی وجود دارد را در نظر نگرفته‌اند. از طرف دیگر، برنامه‌ریزی منعطف در این مسایل به کار گرفته نشده است. این نوع از برنامه‌ریزی که در بخش‌های بعدی بیش‌تر به آن پرداخته می‌شود برای نوع خاصی از عدم قطعیت کاربرد دارد. در نظر گرفتن محدودیت‌های سبد سهام به عنوان محدودیت‌های منعطف نیز از جمله کارهایی است که در مقالات گذشته به آن پرداخته نشده است، هرچند که این محدودیت کاملاً منطقی است. این محدودیت بر آن تاکید دارد که نمی‌توان حد ثابتی را برای وزن سهام در نظر گرفت و امکان انعطاف در حد بالا و پایین وزن سهام در سبد وجود دارد؛ بنابراین در این مقاله به دنبال آن هستیم که مساله بهینه‌سازی سبد سهام را به نحوی معرفی و مدل‌سازی کنیم تا این مساله کاربردی و کاملاً منطقی باشد.

۳ روش‌شناسی پژوهش

هر ترکیبی از دارایی‌ها برای سرمایه‌گذاری را سبد سهام می‌گویند. در هر سبد سهام دو عامل مطلوب وجود دارد که یکی بازده بالای سبد سهام و دیگری ریسک کم آن است؛ بنابراین ترکیب سهام در سبد باید به گونه‌ای انتخاب گردد که این دو هدف را ارضا کند. بنابراین ما با یک مساله چندهدفه روبرو هستیم. در این مقاله ما حالت تک دوره‌ای از یک مدل سبد سهام را بررسی می‌کنیم که محدودیت‌های گفته شده روی آن اعمال شده است. همچنین مفروضاتی را نیز در این مدل در نظر گرفتیم که عبارت است از: عدم فروش کوتاه‌مدت و منعطف بودن محدودیت حدود وزن سهم؛ بنابراین مساله بهینه‌سازی سبد سهام که در این مقاله بررسی می‌شود به صورت زیر است:

$$\text{Max } E(\tilde{k}) = \sum_{i=1}^n x_i \tilde{r}_i \quad (1)$$

$$\text{Min } \text{Var}(\tilde{k}) = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n x_i x_j \text{cov}(\tilde{r}_i, \tilde{r}_j) \quad (2)$$

s.t.

$$\sum_{i=1}^n x_i = 1, \quad (3)$$

$$lm_i \leq x_i, \quad (4)$$

$$x_i \leq um_i, \quad (5)$$

$$\sum_{i=1}^n m_i = N, \quad (6)$$

$$x_i \geq 0, i = 1, \dots, n, \quad (7)$$

$$m_i \in \{0, 1\}, i = 1, \dots, n. \quad (8)$$

که در آن، $\tilde{k}$ بازده غیرقطعی کل سبد، $\tilde{r}_i$ بازده غیرقطعی سهم i ام، $\text{cov}(\tilde{r}_i, \tilde{r}_j)$ کواریانس بین بازده سهم‌های i, j و l و u به ترتیب حد پایین و بالا برای وزن هر سهم در سبد، N تعداد سهمی که در سبد می‌خواهیم داشته باشیم، x_i متغیر وزن سهم i ام در سبد، m_i متغیر باینری که زمانی صفر است که سهم i در سبد نیست و زمانی ۱ است که سهم i ام در سبد است. معادله (۱) نشان‌دهنده ماکزیمم کردن بازده سبد سهام و معادله (۲) مینیمم کردن واریانس سبد سهام را که همان ریسک محسوب می‌شود نشان می‌دهد. محدودیت (۳) محدودیت بودجه است و نشان می‌دهد که جمع وزن سهام قرار گرفته در سبد سهام باید برابر با ۱ باشد. اگر سهمی در سبد سهام قرار بگیرد محدودیت‌های کران بالا و پایین برای آن در نظر گرفته می‌شود که این کران‌ها دارای انعطاف نیز هستند که این محدودیت‌ها را معادله‌های ۴ و ۵ نشان می‌دهد. تعیین حدود بالا و پایین در این محدودیت‌ها باعث کاهش ریسک غیرسیستماتیک سهم می‌گردد. محدودیت (۶) نشان می‌دهد که ما تعداد ثابتی سهم را می‌توانیم در سبد سهام انتخاب کنیم که این محدودیت می‌تواند باعث کاهش ریسک غیرسیستماتیک

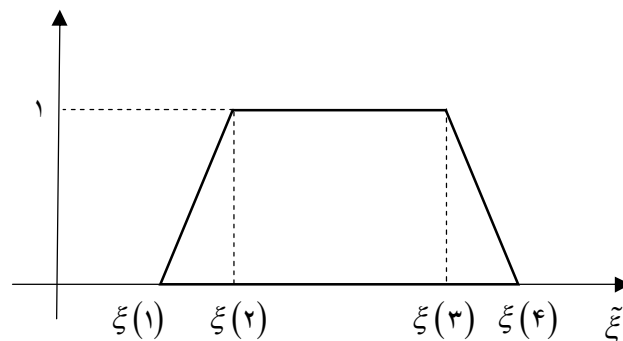
سبد سهام و یا همچنین باعث تمرکز بیش تر سرمایه گذار بر روی سبد خود شود. در نهایت معادلات (۷) و (۸) نشان دهنده غیر منفی بودن و محدودیت باینری بودن متغیرهای تصمیم است. در این پژوهش از برنامه ریزی ریاضی فازی برای مدل سازی و حل مساله سبد سهام تعریف شده، استفاده شده است. بر اساس نوع عدم قطعیت، برنامه ریزی ریاضی فازی می تواند به دو بخش تقسیم شود [۲۲ و ۲۳]: برنامه ریزی منعطف^۱ و برنامه ریزی امکانی^۲. در این پژوهش ما با هر دو دسته از این برنامه ریزی ها روبرو هستیم.

۳-۱ مقدمات و تعاریف

در این جا ابتدا مقدمات و تعاریفی را در رابطه با برنامه ریزی ریاضی فازی مطرح می کنیم. یک عدد فازی است زمانی که $\xi \in F(R)$ نرمال و مجموعه فازی محدب R باشد. این اعداد به مقادیر امکانی وابسته هستند که دامنه این مقادیر وزن $[0, 1]$ است. این وزن تابع عضویت نامیده می شود و تابع عضویت ξ را با $\mu_{\xi}(x)$ نشان می دهند. سطح اطمینان γ از عدد فازی به صورت $\gamma \in [0, 1]$ ، $\gamma = \{x \in R | \mu_{\xi}(x) \geq \gamma\}$ نشان داده می شود. یک عدد فازی ذوزنقه ای است هرگاه به صورت $\xi = (\xi(1), \xi(2), \xi(3), \xi(4))$ بیان شود و تابع عضویت آن به صورت زیر باشد:

$$\mu_{\xi}(x) = \begin{cases} 0, & x \leq \xi(1), x \geq \xi(4) \\ \frac{x - \xi(1)}{\xi(2) - \xi(1)}, & \xi(1) \leq x \leq \xi(2) \\ 1, & \xi(2) \leq x \leq \xi(3) \\ \frac{\xi(4) - x}{\xi(4) - \xi(3)}, & \xi(3) \leq x \leq \xi(4) \end{cases}$$

شکل ۱، یک عدد فازی ذوزنقه ای را نشان می دهد. عدد فازی مثلثی نوع خاصی از ذوزنقه ای می باشد که در آن $\xi(3) = \xi(2)$ است. برای آشنایی بیش تر با روش فازی به [۲۴] رجوع کنید.



شکل ۱. توزیع امکانی عدد فازی ذوزنقه ای

¹ Flexible Programming

² Possibilistic Programming

۳-۲ برنامه‌ریزی منعطف

برنامه‌ریزی منعطف برای حالتی است که در ارضای محدودیت و یا دستیابی به مقادیر هدف توابع هدف، انعطاف وجود دارد. در مساله سبد سهام ارایه شده، محدودیت‌های ۴ و ۵، محدودیت‌های منعطف هستند. این محدودیت‌ها بدین معنی هستند که سرمایه‌گذار مقدار دقیقی را برای حد بالا و پایین وزن هر سهم تعیین نمی‌کند و امکان دارد که این حدود دارای انحرافات جزئی باشند، که این انحرافات در این محدودیت‌ها مدل می‌شود. همان‌گونه که پیش‌تر نیز بیان شده است، این محدودیت‌ها برای عدم تخصیص بیش از حد و یا کم‌تر از حد سرمایه به یک سهم خاص اعمال شده است که باعث می‌شود ریسک غیرسیستماتیک کاهش یابد. همچنین با توجه به اینکه نمی‌توان همواره مقدار مشخص و دقیق حدی برای آن محدودیت‌ها تعیین کرد، قرار دادن انحرافات برای این محدودیت‌ها کاربردی و دارای الزام خواهند بود.

می‌توان فرم کلی چنین محدودیت‌های دارای عدم قطعیت را به صورت زیر نوشت:

$$\sum_{j=1}^n a_{ij} x_j \leq b_i, \quad (9)$$

$$x_j \geq 0, i, j \in N.$$

برای مقابله با چنین عدم قطعیتی می‌توان از روش پیدرو و همکاران [۲۵] استفاده کرد که محدودیت‌های منعطف را به محدودیت‌های ساده تبدیل می‌کند. فرض کنید $\alpha, \beta \in F(R)$ عددهای فازی هستند. روش ساده برای رتبه‌بندی این اعداد تعریف تابع رتبه‌بندی (g) می‌باشد که عدد فازی را به عدد واقعی تبدیل نماید:

$$g: F(R) \rightarrow R.$$

این تابع رتبه‌بندی دارای خصوصیات زیر می‌باشد:

$$g(\alpha) \leq g(\beta) \Leftrightarrow \alpha \leq \beta,$$

$$g(\alpha) \geq g(\beta) \Leftrightarrow \alpha \geq \beta,$$

$$g(\alpha) = g(\beta) \Leftrightarrow \alpha = \beta.$$

همچنین اگر روابط زیر در مورد g درست باشد، آن یک تابع رتبه‌بندی خطی است:

$$g(\alpha + \beta) = g(\alpha) + g(\beta), \quad \forall \alpha, \beta \in F(R),$$

$$g(r\alpha) = rg(\alpha), \quad \forall r \in R, r > 0, \quad \forall \alpha \in F(R).$$

برای حل معادله (۹)، در نظر می‌گیریم که g یک تابع رتبه‌بندی خطی است. تابع φ را به صورت

$$\varphi: F(R) \times F(R) \rightarrow F(R)$$

تعریف می‌کنیم که تابعی به صورت زیر است:

$$\varphi(a_i x, b_i) = \begin{cases} \tilde{p}_i, & a_i x \leq b_i, \\ \tilde{p}_i - a_i x + b_i, & b_i \leq a_i x \leq b_i + \tilde{p}_i, \\ 0, & a_i x \geq b_i + \tilde{p}_i. \end{cases}$$

در تابع فوق، $\tilde{p}_i \in F(R)$ یک عدد فازی است. با استفاده از روش ارایه شده توسط کادناس و وردگی [۲۶] می‌توان تابع عضویت محدودیت i ام را به دست آورد. تابع عضویت مرتبط با محدودیت فازی $a_{ij} x_j \leq b_i$ با عدد فازی $\tilde{p}_i$ که بیش‌ترین تخطی را از محدودیت i ام دارد، به صورت زیر ایجاد می‌شود:

$$\mu^i(a_i x, b_i) = \frac{g(\varphi(a_i x, b_i))}{g(\tilde{p}_i)}, \quad \mu^i : F(\mathcal{R}) \rightarrow [0, 1].$$

در این جا می توان یک برش γ را برای فهمیدن حداقل درجه ارضای محدودیت، بر روی تابع عضویت تعریف کنیم. بنابراین با توجه به تابع درجه عضویت ارائه شده در معادله قبلی داریم [۲۵ و ۲۶]:

$$\begin{aligned} \mu^i(a_i x, b_i) \geq \gamma &\Leftrightarrow \frac{g(\varphi(a_i x, b_i))}{g(\tilde{p}_i)} \geq \gamma \Leftrightarrow \frac{g(\tilde{p}_i - a_i x + b_i)}{g(\tilde{p}_i)} \geq \gamma \Leftrightarrow \\ g(\tilde{p}_i) - g(a_i x) + g(b_i) &\geq g(\tilde{p}_i) \gamma \Leftrightarrow g(a_i x) \leq g(b_i + \tilde{p}_i(1-\gamma)) \Leftrightarrow a_i x \leq b_i + \tilde{p}_i(1-\gamma). \end{aligned}$$

بنابراین با توجه به حداقل درجه ارضای محدودیت γ ، می توان فرم کلی معادله (۹) که دارای محدودیت فازی بود را به فرم زیر تبدیل کرد که در آن عدد فازی وجود دارد:

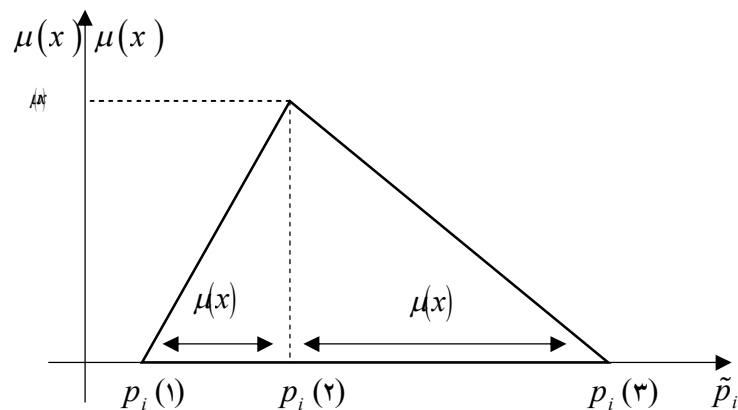
$$\begin{aligned} a_{ij} x_j &\leq b_i + \tilde{p}_i(1-\gamma), \\ x_j &\geq 0, i, j \in N, \gamma \in [0, 1]. \end{aligned} \quad (10)$$

در این مقاله، ما عدد فازی $\tilde{p}_i$ را یک عدد فازی مثلثی در نظر می گیریم. بر اساس شاخص معرفی شده توسط یاگر [۲۷]، معادله (۱۰) را می توان به صورت زیر نوشت:

$$\begin{aligned} a_{ij} x_j &\leq b_i + \left(p_i(2) + \frac{d_{p_i} - d'_{p_i}}{3} \right) (1-\gamma). \end{aligned}$$

همان طور که مشخص است فرم معادله فوق، قطعی بوده و پارامتر عدم قطعیتی در آن ملاحظه نمی شود. در این معادله، $p_i(2)$ نقطه مرکزی عدد فازی مثلثی و d_{p_i} و d'_{p_i} به ترتیب حاشیه های چپ و راست آن است (شکل ۲، عدد فازی مثلثی را نشان می دهد)؛ بنابراین با استفاده از همین روش، محدودیت (۸)، به فرم زیر تبدیل می شود:

$$\begin{aligned} x_i \lesseqgtr um_i &\rightarrow x_i \leq um_i + \left(p_i(2) + \frac{d_{p_i} - d'_{p_i}}{3} \right) (1-\gamma), \\ x_i \lesseqgtr lm_i &\rightarrow -x_i \lesseqgtr -lm_i \rightarrow x_i \geq lm_i - \left(p_i(2) + \frac{d_{p_i} - d'_{p_i}}{3} \right) (1-\gamma). \end{aligned} \quad (11)$$



شکل ۲. توزیع امکانی عدد فازی مثلثی

۳-۳ برنامه‌ریزی امکانی

برنامه‌ریزی امکانی برای حالتی است که عدم قطعیت شناختی در داده‌های مساله وجود داشته باشد.

میانگین و واریانس امکانی در مساله سبد سهام

همان‌گونه که گفته شد، بازده سهام دارای عدم قطعیت است و در این جا برای روبرویی با عدم قطعیت در مورد بازده از عدد فازی دوزنقه‌ای استفاده شده است؛ بنابراین بازده سهم $\tilde{r}_i$ را می‌توان به صورت $r_i = (r_i(1), r_i(2), r_i(3), r_i(4)), i = 1, \dots, n$. نشان داد. کارلسون و همکاران [۲۸]، میانگین و واریانس امکانی را برای سبد سهام به دست آوردند. معادلات میانگین و واریانس امکانی با توجه به دوزنقه‌ای بودن عدد فازی به صورت زیر است:

$$E(\sum_{i=1}^n r_i x_i) = \sum_{i=1}^n \frac{1}{4} \left[r_i(1) + r_i(2) + \frac{1}{3}(r_i(4) - r_i(3) - r_i(2) + r_i(1)) \right] x_i, \quad (12)$$

$$Var(\sum_{i=1}^n r_i x_i) = \left(\sum_{i=1}^n \frac{1}{4} \left[r_i(2) - r_i(1) + \frac{1}{3}(r_i(2) - r_i(1) + r_i(4) - r_i(3)) \right] x_i \right)^2 + \frac{1}{72} \left(\sum_{i=1}^n (r_i(2) - r_i(1) + r_i(4) - r_i(3)) x_i \right)^2. \quad (13)$$

در [۲۹] اثبات محذب بودن معادلاتی مشابه معادله واریانس فوق آورده شده است و بر این اساس نتیجه می‌گیریم که این تابع یک تابع محذب است. برای رعایت اختصار، در ادامه معادله ۱۲ را با نماد E_{Car} و معادله ۱۳ را با نماد Var_{Car} نشان خواهیم داد.

۳-۴ برنامه‌ریزی آرمانی

برنامه‌ریزی آرمانی^۱ توسط چارنر و همکاران [۳۰] برای اولین بار ارایه گردید و سپس توسط ایجیری [۳۱] به مسایل تصمیم‌گیری مالی تعمیم داده شد. برنامه‌ریزی آرمانی نوع خاصی از برنامه‌ریزی ریاضی است که دارای توابع چندهدفه است. برنامه‌ریزی آماری اختلاف بین مقدار مطلوب و مقدار واقعی نتایج را کم می‌کند. در این مقاله از این نوع برنامه‌ریزی استفاده شده است تا بتوان مساله چندهدفه مورد بررسی را به یک مساله ساده تبدیل کرد؛ بنابراین می‌توان معادله‌های ۱۲ و ۱۳ را به یک تابع هدف به صورت زیر نوشت:

$$\begin{aligned} & \text{Max } E_{Car} - \rho \left(\sum_{i=1}^n d_i^+ + d_i^- \right) \\ & s.t. \end{aligned} \quad (14)$$

$$Var_{Car} + \sum_{i=1}^n d_i^- - \sum_{i=1}^n d_i^+ = G,$$

$$d_i^-, d_i^+ \geq 0.$$

¹ Goal Programming

مقدار مطلوب واریانس همواره صفر است و واریانس همواره یک عدد مثبت است؛ بنابراین با استفاده از $d_i^- = 0, d_i^+ \geq 0$ و $G = 0$ می توان معادله فوق را به صورت زیر بازنویسی کرد:

$$\begin{aligned} & \text{Max } E_{Car} - \rho d^+ \\ & s.t. \\ & \quad Var_{Car} - d^+ = 0, \\ & \quad d^+ \geq 0. \end{aligned} \quad (15)$$

بنابراین در نهایت می توان مساله سبد سهام پیشنهادی را به صورت زیر نوشت:

$$\begin{aligned} & \text{Max } E_{Car} - \rho d^+ \\ & s.t. \\ & \quad Var_{Car} - d^+ = 0, \\ & \quad x_i \leq um_i + \left(p_i (2) + \frac{d_{p_i} - d'_{p_i}}{3} \right) (1 - \gamma), \\ & \quad x_i \geq lm_i - \left(p_i (2) + \frac{d_{p_i} - d'_{p_i}}{3} \right) (1 - \gamma), \\ & \quad \sum_{i=1}^n x_i = 1, \\ & \quad \sum_{i=1}^n m_i = N, \\ & \quad x_i, d^+ \geq 0, i = 1, \dots, n, \\ & \quad m_i \in \{0, 1\}, i = 1, \dots, n, \\ & \quad 0.5 < \gamma \leq 1. \end{aligned} \quad (16)$$

که در آن γ سطح اطمینان محدودیت شانس در فرمول فوق می باشد که توسط تصمیم گیرنده مقدار آن باید تعیین گردد.

۴ یافته های پژوهش

در این جا بازده ۳۰ شرکت از بورس اوراق بهادار تهران، در ماه آبان سال ۱۳۹۳، برای اجرای مدل در نظر گرفته شده اند. روش های مختلفی برای تبدیل داده های تاریخی به اعداد فازی در مرور ادبیات وجود دارد که در این جا از روش آزاده و همکاران [۳۲] استفاده شده است. در این روش، برای تبدیل داده های تاریخی به اعداد ذوزنقه ای ابتدا داده ها به ترتیب به دو دسته با مشاهدات برابر تقسیم می شوند و سپس مقادیر مینیمم، ماکزیمم و میانگین هر دسته محاسبه می گردد. سپس مقدار کم تر در بین مینیمم دسته ها را انتخاب و برابر با (۱) قرار می دهیم، از طرف دیگر مقدار بیش تر در بین ماکزیمم دسته ها را برابر با (۴) قرار می دهیم و میانگین های به دست آمده را به (۲) و (۳) اختصاص می دهیم. همچنین اعداد فازی مثلثی برای انحرافات وزن سهام در سبد، طبق نظر

جدول ۱. بازده و انحرافات وزن در سبید برای هر سهم به صورت عدد فازی

५.

تصادفی انتخاب می‌گردد، مقادیر بازده سهام‌های مختلف در آن‌ها با یکدیگر متفاوت خواهد بود؛ بنابراین فرم مساله بهینه‌سازی تحت شرایط واقع‌نمایی به فرم زیر تغییر پیدا می‌کند:

$$\begin{aligned}
 & \text{Max} \sum_{i=1}^n r_i^{\text{real}} x_i^* - \rho \left(\sum_{i=1}^n d_i^+ \right) - \lambda \left(\sum_{i=1}^n R_i^u \right) - \omega \left(\sum_{i=1}^n R_i^l \right) \\
 & \text{s.t.} \\
 & \text{var} \left(\sum_{i=1}^n r_i^{\text{real}} x_i^* \right) - d_i^+ = 0, \\
 & x_i^* \leq um_i^* + p_i^{\text{real}} + R_i^u, \\
 & x_i^* + R_i^l \geq lm_i^* - p_i^{\text{real}}, \\
 & \sum_{i=1}^n x_i^* = 1, \\
 & \sum_{i=1}^n m_i^* = N, \\
 & R_i^u, R_i^l \geq 0, i = 1, \dots, n.
 \end{aligned} \tag{17}$$

که در معادلات فوق، R_i^l ، R_i^u نشان‌دهنده انحراف از محدودیت‌ها تحت واقع‌نمایی و λ و ω مقادیر جریمه تابع هدف به ازای این انحرافات از محدودیت‌ها است. حال برای مقایسه دو مدل می‌توان از شاخص عملکرد این واقع‌نمایی‌های انجام شده استفاده کرد که در این‌جا از شاخص عملکرد میانگین و انحراف معیار استفاده شده است. نتایج حاصل از واقع‌نمایی، میانگین و انحراف معیار دو مدل در جدول ۳ نمایش داده شده است.

جدول ۳. عملکرد مدل‌ها تحت واقع‌نمایی

تکرار	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸	۹	۱۰	میانگین	انحراف استاندارد
مدل	۳۰/۴۴	۲۱/۶۶	۲۶/۴۸	۳۰/۲۴	۲۰/۵۶	۳۲/۰۳	۱۸/۴۴۳	۲۶/۸۶	۱۶/۵۷	۲۷/۱۳	۲۵/۰۴۳	۴/۸۷۶
$\gamma = 0.7$												
مدل	۲۱/۴۲	۲۱/۴۲	۳۱/۷	۱۷/۴۲	۱۶/۰۴	۱۳/۹۱	۲۴/۰۸۲	۲۳/۸۳۲	۲۷/۲۹۹	۱۲/۸۵۷	۲۱/۰۰	۵/۴۴۳
$\gamma = 0.8$												

مشخص است که در واقع‌نمایی، معیارهای عملکرد برتری سطح اطمینان ۰/۷ را تایید می‌کنند؛ زیرا همان‌طور که در جدول ۳ نیز مشاهده می‌شود میانگین مقدار تابع هدف مدل ۰/۷ در تکرارهای واقع‌نمایی بالاتر از میانگین مدل ۰/۸ است و همچنین انحراف استاندارد مدل ۰/۷ از مدل رقیب کم‌تر است که این معیار نیز به برتری این مدل اشاره دارد. این نتایج نشان می‌دهد که برای تصمیم‌گیری در مورد سبد سهام، اگر بتوان سطح اطمینان تصمیم‌گیرنده را مقدار ۰/۷ قرار داد، آن‌گاه می‌توان با ریسک کم‌تر، انتظار بازده سود بالاتری را داشت.

۵ نتیجه‌گیری و بحث

مساله سبد سهام همواره یکی از جذاب‌ترین مسایل در زمینه مالی به حساب می‌آید که با انتخاب سهام و تخصیص وزن هر سهم، سر و کار دارد. در این مطالعه، مدل بهینه‌سازی سبد سهامی در نظر گرفته شده است که محدودیت-

هایی به آن اضافه شده است. محدودیت‌های اضافه شده به مدل، محدودیت در انتخاب تعداد سهم موجود در سبد و محدودیت برای حد بالا و پایین وزن هر سهم در سبد سهام بوده است. دلیل اضافه کردن این محدودیت‌ها در این پژوهش آن بوده است که ریسک غیرسیستماتیک سبد سهام کاهش یابد. محدودیت‌هایی که در این مدل اضافه شده‌اند، محدودیت‌های کاربردی هستند و در واقعیت توسط سرمایه‌گذاران مورد استفاده قرار می‌گیرد. همچنین محدودیت در نظر گرفته شده برای وزن سهام، در این جا فازی و دارای انعطاف در نظر گرفته شده است که در کارهای پیشین چنین محدودیتی در نظر گرفته نشده است. برای اجرای مساله سبد سهام معرفی شده، نمونه-ای از شرکت‌های پذیرفته شده در بورس اوراق بهادار تهران در نظر گرفته شد. نتایج برای دو مقدار متفاوت از سطح اطمینان محدودیت شانس ارایه گردید.

پژوهش‌های آینده زیادی در این حوزه می‌تواند پیشنهاد شود که از جمله آن‌ها می‌توان به این موارد اشاره کرد: (۱) استفاده از بهینه‌سازی استوار به جای رویکرد فازی در برخورد با عدم قطعیت، (۲) استفاده از رویکرد بیان شده برای مساله‌های سبد سهام متفاوت، نظیر سبد سهام چند دوره‌ای، (۳) استفاده از روش برنامه‌ریزی آرمانی فازی برای برخورد با چند هدفه بودن مساله و (۴) استفاده از روش‌های فراابتکاری برای حل مساله ارایه شده.

منابع

- [۲] امیری، م.، شریعت‌پناهی، م.، بناکار، م.، (۱۳۸۹). انتخاب سبد سهام بهینه با استفاده از تصمیم‌گیری چند معیاره. فصلنامه بورس اوراق بهادار، ۳(۱۱)، ۵-۲۴.
- [۳] راعی، ر.، تلنگی، ا.، (۱۳۸۳). مدیریت سرمایه‌گذاری پیشرفته، تهران، سمت.
- [۶] افشار کاظمی، م.، خلیلی عراقی، م.، سادات کیایی، ا.، (۱۳۹۱). انتخاب سبد سهام در بورس اوراق بهادار تهران با تلفیق روش تحلیل پوششی داده‌ها و برنامه‌ریزی آرمانی. فصلنامه علمی پژوهشی دانش مالی تحلیل اوراق بهادار، ۵(۱۳)، ۴۹-۶۳.
- [۷] خدامرادی، س.، ترابی گودرزی، م.، راعی عزآبادی، م.، (۱۳۹۲). رویکرد دو مرحله‌ای ریاضی در بهینه‌سازی سبد سهام. مهندسی مالی و مدیریت اوراق بهادار، ۴(۱۴)، ۱۶۷-۱۳۶.
- [۸] درخشان، م.، گل مکانی، ح.، حنفی‌زاده، پ.، (۱۳۹۱). رویکردی فراابتکاری برای انتخاب سبد سهام با اهداف چندگانه در بورس اوراق بهادار تهران. نشریه بین‌المللی مهندسی صنایع و مدیریت تولید، ۲۳(۳)، ۳۱۷-۳۳۱.
- [۹] خالوزاده، ح.، امیری، ن.، (۱۳۸۵). تعیین سبد سهام بهینه در بازار بورس ایران بر اساس نظریه ارزش در معرض ریسک. مجله تحقیقات اقتصادی، ۴۱(۲)، ۲۱۱-۲۳۱.
- [۱۰] گرکز، م.، عباسی، ا.، مقدسی، م.، (۱۳۸۹). انتخاب و بهینه‌سازی سبد سهام با استفاده از الگوریتم ژنتیک بر اساس تعاریف متفاوتی از ریسک. فصلنامه مدیریت صنعتی دانشکده علوم انسانی دانشگاه آزاد اسلامی، ۵(۱۱)، ۱۱۵-۱۳۶.
- [۱۱] قندهاری، م.، فغانی، ف.، طباطبایی، س.، (۱۳۹۱). مدل‌سازی آرمانی برای انتخاب پرتفولیوی بهینه با گشتاورهای بالا. مجله تحقیق در عملیات در کاربردهای آن، ۹(۴)، ۵۵-۶۹.
- [۱۲] خیامیم، آ.، میرزازاده، ا.، نادری، ب.، (۱۳۹۳). یک مدل فازی برای به روز رسانی پورتفوی با در نظر گرفتن هزینه‌های معاملات: پیاده‌سازی در بورس اوراق بهادار تهران. مجله تحقیق در عملیات در کاربردهای آن، ۱۱(۲)، ۷۵-۹۳.

- [1] Markowitz, H., (1952). Portfolio selection. The journal of finance, 7(1), 77-91.
- [4] Lakonishok, J., Shapiro, A. C., (1986). Systematic risk, total risk and size as determinants of stock market returns. Journal of Banking & Finance, 10(1), 115-132.
- [5] Lobo, M. S., Fazel, M., Boyd, S., (2007). Portfolio optimization with linear and fixed transaction costs. Annals of Operations Research, 152(1), 341-365.

- [13] Deng, X., Zhao, J. f., (2013). Some new results on value ranges of risks for mean–variance portfolio models. *Information Sciences*, 234(1), 217-225.
- [14] Zadeh, L. A., (1973). Outline of a new approach to the analysis of complex systems and decision processes. *Systems, Man and Cybernetics, IEEE Transactions on*, (1), 28-44.
- [15] Liu, Y. J., Zhang, W. G., (2013). Fuzzy portfolio optimization model under real constraints. *Insurance: Mathematics and Economics*, 53(3), 704-711.
- [16] Zhang, P., Zhang, W. G., (2014). Multiperiod mean absolute deviation fuzzy portfolio selection model with risk control and cardinality constraints. *Fuzzy Sets and Systems*, 255(1), 74-91.
- [17] Huang, X., (2010). Mean-risk model for uncertain portfolio selection. *Fuzzy Optimization and Decision Making*, 10(1), 71-89.
- [18] Zhou, R., Yang, Z., Yu, M., Ralescu, D. A., (2015). A portfolio optimization model based on information entropy and fuzzy time series. *Fuzzy Optimization and Decision Making*, 14(4), 381-397.
- [19] Duan, L., Stahlecker, P., (2011). A portfolio selection model using fuzzy returns. *Fuzzy Optimization and Decision Making*, 10(2), 167-191.
- [20] Cadenas, J. M., Carrillo, J. V., Garrido, M. C., Ivorra, C., Liern, V., (2012). Exact and heuristic procedures for solving the fuzzy portfolio selection problem. *Fuzzy Optimization and Decision Making*, 11(1), 29-46.
- [21] Wu, X. L., Liu, Y. K., (2012). Optimizing fuzzy portfolio selection problems by parametric quadratic programming. *Fuzzy Optimization and Decision Making*, 11(4), 411-449.
- [22] Mula, J., Poler, R., Garcia, J., (2006). MRP with flexible constraints: A fuzzy mathematical programming approach. *Fuzzy Sets and Systems*, 157(1), 74-97.
- [23] Zahiri, B., Tavakkoli-Moghaddam, R., Pishvae, M. S., (2014). A robust possibilistic programming approach to multi-period location–allocation of organ transplant centers under uncertainty. *Computers & Industrial Engineering*, 74(1), 139-148.
- [24] Sakawa, M., (2013). *Fuzzy sets and interactive multiobjective optimization*. Springer Science & Business Media Publishing Company.
- [25] Pedro, D., Mula, J., Poler, R., Verdegay, J. L., (2009). Fuzzy optimization for supply chain planning under supply, demand and process uncertainties. *Fuzzy Sets and Systems*, 160(18), 2640-2657.
- [26] Cadenas, J. M., Verdegay, J. L., (1997). Using fuzzy numbers in linear programming. *Systems, Man, and Cybernetics, Part B: Cybernetics, IEEE Transactions on*, 27(6), 1016-1022.
- [27] Yager, R. R., (1981). A procedure for ordering fuzzy subsets of the unit interval. *Information sciences*, 24(2), 143-161.
- [28] Carlsson, C., Fullér, R., Majlender, P., (2002). A possibilistic approach to selecting portfolios with highest utility score. *Fuzzy sets and systems*, 131(1), 13-21.
- [29] Bazaraa, M. S., Sherali, H. D., Shetty, C., (2006). *Nonlinear Programming*. New York: Wiley.
- [30] Charnes, A., Cooper, W. W., Ferguson, R. O., (1955). Optimal estimation of executive compensation by linear programming. *Management science*, 1(2), 138-151.
- [31] Ijiri, Y., (1965). *Management goals and accounting for control*. Amsterdam: North Holland Pub.
- [32] Azadeh, A., Ebrahim, R. M., Eivazy, H., (2010). Parameter optimization of tandem queue systems with finite intermediate buffers via fuzzy simulation. *Performance Evaluation*, 67(5), 353-360.
- [33] Pishvae, M. S., Razmi, J., Torabi, S. A., (2012). Robust possibilistic programming for socially responsible supply chain network design: A new approach. *Fuzzy sets and systems*, 206(1), 1-20.