

تشکیل صندوق شاخصی بهبود یافته با استفاده از رویکرد بهینه سازی امکانی استوار

مقصود امیری^۱

شیما شهنساری^۲

سجاد لک چالспاری^۳

چکیده

یکی از مهمترین دغدغه‌های مدل‌سازی‌ها انطباق مدل ریاضی با واقعیت می‌باشد و در دنیای واقعی عدم قطعیت یکی از موارد قطعی است که در برنامه‌ریزی ریاضی کلاسیک این عدم قطعیت‌ها، نادیده گرفته می‌شود. بهینه سازی استوار یکی از متدهای مدیریت عدم قطعیت پارامترهاست. در این تحقیق تلاش شده است که رویکرد بهینه‌سازی امکانی استوار برای ایجاد صندوق شاخصی بهبود یافته مورد بررسی و مطالعه قرار گیرد. صندوق شاخصی بهبود یافته از یک سو تلاش می‌کند تا از شاخص کل انحراف کمتری داشته باشد و از سوی دیگر تلاش می‌کند تا بازدهی بیشتری نسبت به شاخص هدف داشته باشد. مدل این تحقیق توسط داده‌های واقعی در بورس اوراق بهادار برای ردیابی شاخص کل، حل شده است. مقایسه نتایج حاصل از تجزیه و تحلیل داده‌ها و حل مدل با رویکرد بهینه‌سازی امکانی استوار، بر عملکرد مناسب و دقت ردیابی بالای صندوق شاخصی بهبود یافته دلالت دارد و صندوق، از همبستگی مثبت بالایی با شاخص بورس برخوردار است و همچنین بازده بیشتری نسبت به شاخص کل دارد.

واژگان کلیدی: عدم قطعیت، صندوق شاخصی بهبود یافته، رویکرد بهینه‌سازی

امکانی استوار

طبقه‌بندی موضوعی: C60, C02, G11

۱. استاد عضو هیئت علمی دانشگاه علامه طباطبائی

۲. کارشناس ارشد مهندسی مالی دانشگاه غیرانتفاعی رجاء (نویسنده مسئول) shima.shahsavari69@gmail.com

۳. کارشناس ارشد مهندسی مالی دانشگاه غیرانتفاعی رجاء

۱- مقدمه

سیاست گذاران کلان بازار سرمایه به موازات توسعه‌ی کمی و کیفی این بازار، به طراحی و ارائه ابزارهای مالی نوین برای تأمین علایق متفاوت در انتخاب سرمایه‌گذاری‌ها، بیش از پیش توجه کرده‌اند. در همین راستا قانون توسعه ابزارها و نهادهای مالی جدید و به تبع آن راه‌اندازی صندوق‌های سرمایه‌گذاری^۴، امکان جدیدی را برای فعالان بازار سرمایه فراهم کرد تا از مزایای حاصل از تنوع‌بخشی و افزایش نقدشوندگی بهره‌مند شوند (بحرالعلوم و همکاران، ۱۳۹۴). بدیهی است وجود تنوع در صندوق‌های سرمایه‌گذاری به عنوان یکی از اقسام نهادهای مالی، از جمله عوامل موثر در ایجاد انگیزه برای مشارکت سرمایه‌گذاری در بازار سرمایه است. به همین دلیل است که ابداعات و نوآوری‌های بسیاری در چند دهه گذشته در صندوق‌های سرمایه‌گذاری صورت گرفته و صندوق‌های سرمایه‌گذاری مختلفی از قبیل صندوق‌های سرمایه‌گذاری شاخصی^۵، صندوق‌های سرمایه‌گذاری شاخصی بهبود یافته^۶ و صندوق‌های سرمایه‌گذاری پوششی^۷ به وجود آمده‌اند. (حجازی و همکاران، ۱۳۹۰). صندوق‌های شاخصی بهبود یافته یکی از نهادهای سرمایه‌گذاری است که امروزه بسیاری از سرمایه‌گذاران و مدیران در بازارهای توسعه یافته و نوظهور به آن گرایش یافته‌اند، اما هنوز این نهاد مالی در بازار ایران به خوبی شناخته شده نیست. هدف صندوق سرمایه‌گذاری مبتنی بر شاخص انطباق پرتفوی سرمایه‌گذاری با شاخص بازار سهام است. یک صندوق سرمایه‌گذاری مبتنی بر شاخص، الزاماً منابع خود را براساس الگوی تعیین شده برای یکی از شاخص‌های موجود در بازار، سرمایه‌گذاری می‌کند. شاخص مذکور می‌تواند شاخص کل یا یکی دیگر از شاخص‌های بازار سهام باشد.

با توجه به وجود هزینه‌های صندوق شاخصی لذا انتظار می‌رود تخصیص سرمایه به نحوی انجام شود که بازدهی بالاتر از شاخص کسب شود تا هزینه‌های صندوق جبران گردد، لذا مسئله ردیابی شاخص با بازدهی بالاتر مورد توجه محققین قرار گرفته است. در این راستا هدف طراحی مدل به نحوی که قادر باشد بازدهی بالاتر از شاخص کسب کند و احتمال ضعیفتر از شاخص عمل کردن را کمینه سازد مورد بررسی می‌باشد. بدون شک یکی از مهمترین دغدغه‌های مدل-سازی‌ها انطباق مدل ریاضی با واقعیت می‌باشد و در دنیای واقعی عدم قطعیت یکی از موارد قطعی

4 Investment funds

5 Index fund

6 Enhanced Index Funds

7 Hedge Funds

است. از این رو، می توان به اهمیت دخالت دادن داده های با عدم قطعیت در مدل های ریاضی پی برد (علی رضا قهطرانی، ۱۳۹۱). با توجه به لزوم تشکیل صندوق ردیابی کننده شاخص به منظور پوشش ریسک و سرمایه گذاری و با توجه به وجود محدودیت در دنیای واقعی برای سرمایه گذاری (وجود عدم قطعیت داده ها) و لزوم توجه به این محدودیت ها به منظور مدیریت منطقی و مناسب صندوق های شاخصی ارایه یک روش با قابلیت مناسب در این زمینه از اهمیت بالایی برخوردار است. این تحقیق به تشکیل صندوق شاخصی بهبود یافته با استفاده از یک مدل مکان یابی حمل و نقل و در نظر گرفتن عدم قطعیت داده ها و حل آن به وسیله رویکرد بهینه سازی امکانی استوار می پردازد. در ادامه، ابتدا مبانی نظری و پیشینه پژوهش را بیان کرده و سپس به روش تجزیه و تحلیل داده ها و نتایج تجربی خواهیم پرداخت. در پایان نیز از مباحث مطرح شده و یافته های پژوهش نتیجه گیری و پیشنهاداتی برای تحقیقات آتی ارائه خواهیم کرد.

۲- مبانی نظری و پیشینه تحقیق

منطق زیربنایی برای توسعه یک شاخص، پایش عملکرد بخشهایی از بازار مالی مانند بازار سهام، مشتقات مالی یا اوراق بهادار با درآمد ثابت است (رافائلی و همکاران، ۲۰۰۶). به طور مثال شاخص کل بورس تهران، یک شاخص وزنی از ارزش بازار سهام شرکت های پذیرش شده در بورس است. سرمایه گذاران اغلب به دنبال ردیابی و دستیابی به عملکردی مشابه یک شاخص خاص هستند. دلیل این موضوع پتانسیل نسبتاً بالا برای کسب بازده با حداقل ریسک و هزینه های معاملاتی و مدیریتی است. در مقابل، دسته ای از سرمایه گذاران فعال قرار دارند که با بهره گیری از تجربه و دانش خود در انتخاب اوراق بهادار و یا زمانبندی مناسب تصمیم های خرید و فروش بدنبال دستیابی به بازده فراتر از شاخص هستند. به طور میانگین، سرمایه گذاران بازده بازار منهای هزینه های معاملاتی را کسب می کنند و هر چه فعالیت بیشتر باشند، با هزینه های معاملاتی، تأثیرات بازار و هزینه های مالیاتی بیشتر مواجه می شوند (حنیفی، ۲۰۰۹). بنابراین سرمایه گذاران فعال نه تنها باید بر هزینه های معاملاتی غلبه کنند، بلکه فرضیه بازار کارا امکان حدس زدن صحیح نوسان های بازار یا یک سهم خاص در یک بازه زمانی بلندمدت را تقریباً غیرممکن می داند. از این رو ردیابی شاخص بازار با سرمایه گذاری در تعداد محدودی از سهام تشکیل دهنده آن یا به عبارتی تشکیل صندوق شاخصی، یک استراتژی جذاب سرمایه گذاری به شمار می آید. در پژوهش های مختلف، روش های گوناگونی برای ردیابی شاخص

پیشنهاد شده است: برخی از پژوهشگران تلاش کردند پیچیدگی الگوی ریاضی را با الگوریتم های ابتکاری و برآورد جوابهای خوب و نه لزوماً بهینه مدیریت کنند، بطور مثال بیزلی و همکاران (Beasley, et al., 2003) از یک الگوریتم ابتکاری تکاملی استفاده کردند که علاوه بر حل مسأله کمینه سازی خطای ردیابی غیرخطی، محدودیت هزینه های معاملاتی و تعدیل ترکیب صندوق را نیز دربرمی گرفت. گیلی و کلزی (Gençay et al, 2001) از یک الگوریتم ابتکاری پذیرش تا حد آستانه برای کمینه سازی خطای ردیابی با درنظر گرفتن هزینه های معاملاتی استفاده کردند. کولمن و همکاران (Colman, et al., 2006) کمینه سازی خطای ردیابی از درجه دو را با محدودیت عدد صحیح و با بهره گیری از یک الگوریتم غیرمحدب تدریجی مطالعه کردند. الکساندر و دیمیترو (Alexander & Dimitro, 2005) یک روش برای تعیین وزن های هم انباشتگی بهینه برای مجموعه از سهام در یک پرتفوی ردیاب شاخص انتخاب کردند. کاناگگوز و بیزلی (Kanakgoz & Beasley, 2008) از رویکرد دیگری مبنی بر فرموله کردن یک الگوریتم MIP با یک تابع هدف مبتنی بر رگرسیون خطی استفاده کردند. در زمینه ی بهینه سازی استوار برای کاربردهای مالی، توتونکو و کونینگ (Tutunko & Koenig, 2004) یک مدل استوار برای تخصیص دارایی ایجاد کردند که با استفاده از مجموعه های عدم قطعیت به جای استفاده از برآورد نقطه ای برای بازده و کواریانس استفاده می کند. برتسیماس و پاچامانوا (Bertsimas & Pachamanova, 2008) فرمول استوار را برای پرتفوی چند دوره ای ارائه کردند که می توان با برنامه ریزی خطی آن را حل کرد. کاوواس و تیل (Kavus & Til, 2008) یک مدیریت پرتفوی لگاریتم استوار ارائه کردند که از نرخ بازده مرکب پیوسته به عنوان محرک عدم قطعیت به جای بازده فعال حمایت میکند. پینار و توتونکو (Pinar & Tu"tu"ncu, 2005) مفهوم قوی از فرصت سود استوار که به معاملات وابسته است. آنها همچنین مدل تکی و چند دوره ای را برای حداکثر سازی فرصت سود استوار ارائه کردند. بسیاری از این ایده ها در کورنوجولوس و توتونکو (Cornuejols & Tu"tu"ncu, 2007) کشف شد.

حجازی و همکاران (۱۳۹۰) مدلی را جهت تشکیل صندوق شاخصی بهبودیافته مبتنی بر الگوریتم ژنتیک ارائه نمودند. مسئله تحقیق بگونه ای مدل سازی شد که هدف دستیابی به بازده ای فراتر از شاخص همزمان با کاهش انحراف از آن مورد توجه قرار گرفت. نتایج حاصل از این پژوهش حاکی از عملکرد برتر سبد پیشنهادی در مقایسه با شاخص قیمت و بازده نقدی بورس تهران بود.. رزاقی و همکاران (۱۳۹۱) مساله انتخاب سبد سهام ردیابی کننده شاخص را با استفاده از شبکه های

عصبی هاپفیلد مورد مطالعه قرار دادند. سید جعفر سجادی و همکاران (2012) در زمینه چارچوب بهینه سازی استوار برای مسئله پرتفولیوی محدود کاردینالیتی فعالیت کردند که همه پارامترها با عدم قطعیت مواجه بودند که یک الگوریتم ژنتیک برای یافتن جواب نزدیک به بهینه استفاده کردند. علیرضا قهطرانی و امیر عباس نجفی (2013) مقاله ای راجع به برنامه نویسی هدف استوار برای مساله انتخاب پرتفوی چند هدفه ارائه کردند که نشان می دهد که هنگامی که هزینه استواری افزایش پیدا کند محافظه کاری در جواب افزایش می یابد که با استفاده از برنامه ریزی آرمانی و رویکرد استوار انجام شده است. محمد مهدی بحر العلوم (2014) مقاله ای در زمینه تشکیل صندوق شاخصی با استفاده از رویکرد استوار و محدودیت عدد صحیح ارائه کرد. در این راستا یک مدل برنامه ریزی خطی بصورت کمینه سازی انحراف میان بازدهی مورد انتظار صندوق و شاخص بورس به منظور حل مسئله ردیابی شاخص معرفی گردید که از الگوریتم ژنتیک برای حل آن استفاده شد. پیشوایی و همکاران (2014) مقاله ای در زمینه مسائل حمل و طراحی شبکه زنجیره ی تامین ارائه کردند که با توجه به تئوری امکان و رویکرد استوار مدلی جامع و کامل به نام برنامه ریزی امکانی استوار برای حل مساله ارائه کردند. سیفی و همکاران (۱۳۸۳) مدل یکپارچه استوار در مساله انتخاب سهام تک دورهای را توسعه دادند. در این پژوهش بر چگونگی انطباق مدل استوار بر تابع مطلوبیت سرمایه گذار و عدم قطعیت نرخ بازده سهام تأکید شد. مدرس و همکاران (۱۳۸۹) به بهینه سازی استوار سید مالی دارای اختیار معامله پرداختند.

۳-روش شناسی تحقیق

با توجه به اینکه در این تحقیق از رویکرد بهینه سازی امکانی استوار در تشکیل صندوق شاخصی بهبود یافته استفاده شده است و به گونه ای یک توسعه در مدل های قبلی در این شاخه از دانش می باشد و برای بهبود روشهای قبلی طراحی شده است، در زمره ی تحقیقات توسعه ای و کاربردی قرار خواهد گرفت. مدل و روش حل این تحقیق با توجه به بررسی روابط بین چند متغیر و تاثیر آنها روی متغیرهای وابسته از نظر روش شناسی این تحقیق در زمره تحقیقات همبستگی قرار می گیرد. در مدل این تحقیق از یک مدل حمل و نقل که برای جایگذاری دارایی ها می باشد استفاده شده است. جامعه آماری تحقیق کل شرکت های پذیرفته شده در بورس اوراق بهادار تهران می باشد و قلمرو زمانی آن بازه بین سال های ۱۳۹۲-۱۳۸۹ را در برمی گیرد. روش تحلیل داده ها

منمركز بر برنامه ریزی ریزی بوده و به منظور تهیه داده های خام ورودی از نرم افزار Tseclient2، برای محاسبه بازده و همبستگی بازده سهام از نرم افزارهای EXCEL و VBE و برای حل مدل از نرم افزار GAMS24 استفاده شده است.

۳-۱- سوالات تحقیق

- ۱- آیا استفاده از رویکرد استوار در مقابل عدم استفاده از این رویکرد در برنامه ریزی محدودیت شانس نتایج به مراتب بهتری در اختیار ما قرار می دهد؟
- ۲- آیا عملکرد صندوق شاخصی بهبود یافته از عملکرد بازار بهتر خواهد بود؟
- ۳- آیا میان صندوق شاخصی بهبود یافته و شاخص کل همبستگی وجود دارد؟

۳-۲- روش نمونه گیری و داده های مورد استفاده

نمونه آماری در این تحقیق، متشکل از شرکت های پذیرفته شده در بورس است که بیشترین تاثیرگذاری بر شاخص یا نوساناتی مشابه آن را در بازه زمانی پژوهش داشته اند. به منظور دستیابی به این نمونه روش نمونه گیری غربالگری و مقطع عرضی مورد استفاده قرار گرفت. داده های استفاده شده در این تحقیق در فاصله زمانی ۸۹/۰۱/۰۷ تا ۹۲/۰۱/۰۵ استخراج شده است. تعداد سهام انتخاب شده بعد از فیلترینگ به ۲۰۶ سهم رسید. به منظور محاسبه بازدهی مورد انتظار و ضریب همبستگی میان سهام از ۲۰۶ سهم منتخب در فرایند تشکیل صندوق شاخصی استوار، از میانگین بازدهی ماهانه و سری زمانی متناظر آن بهره گرفته شد.

مسئله اصلی این تحقیق تخصیص بهینه دارایی ها در یک صندوق شاخصی است. در تخصیص بهینه دارایی ها در یک صندوق شاخصی، به دنبال جستجوی K سهم مناسب از مجموعه ی سهام موجود در شاخص کل بورس تهران در زمان T هستیم که بتواند عملکردی مشابه شاخص را در بازه زمانی $(T, T + \epsilon)$ را ایجاد کند. (بحرالعلوم و همکاران، ۱۳۸۹)

مدلسازی مسئله: مدل قطعی به شرح زیر است

$$1) \text{Max } Z_1 = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n \rho_{ij} x_{ij}$$

$$2) \text{Max } Z_2 = \sum_{j=1}^n \mu_j w_j$$

Subject to:

$$3) \sum_{j=1}^n y_j \leq k$$

$$4) \sum_{j=1}^n w_j = 1$$

$$5) Ly_j \leq w_j \leq Uy_j$$

$$6) \sum_{j=1}^n x_{ij} = 1 \quad \text{for } i = 1, \dots, n$$

$$7) x_{ij} \leq y_j \quad \text{for } i = 1, \dots, n; \& j = 1, \dots, n$$

$$8) x_{ij}, y_j \in \{0,1\}$$

$$9) w_j \geq 0$$

x_{ij} : نشان دهنده تشابه بین دارایی i و دارایی j می باشد. y_j : اگر دارایی j انتخاب شود عدد ۱ و در غیر اینصورت عدد ۰ می باشد. ρ_{ij} : میزان تشابه بین دارایی i و دارایی j (ضریب همبستگی بین دو دارایی). w_j : میزان وزن سرمایه گذاری در سهم j ام. L : حداقل وزن نگهداری از هر سهم در پرتفوی. U : حداکثر وزن نگهداری از هر سهم در پرتفوی. k : اندازه پرتفوی. μ_j : بازده مورد انتظار سهم j ام.

تابع هدف اول میزان همبستگی هر سهم را با دیگر سهم ها مشخص می کند. تابع هدف دوم در صدد می باشد تا میزان بازده کل صندوق را با توجه به بازده هر سهم و وزن آن سهم در صندوق حداکثر کند. محدودیت اول حداکثر تعداد سهام موجود در صندوق (k) را نشان می دهد. محدودیت دوم مجموع وزن سهم های موجود در سبد را به ما نشان می دهد. محدودیت سوم حداکثر و حداقل میزان وزن هر سهمی که در سبد قرار میگیرد را مشخص میکند که با L و U نشان داده شده اند. محدودیت چهارم نشان میدهد که هر سهم موجود در صندوق نماینده تعدادی سهم از کل سهم ها می باشد. محدودیت پنجم نشان میدهد که در صورتی یک سهم می تواند نماینده

دیگر سهم‌ها در صندوق باشد که خود سهم در صندوق واقع باشد. محدودیت ششم نشان دهنده‌ی صفرویک بودن X, Y می‌باشد.

۳-۴- بهینه‌سازی استوار

برنامه‌ریزی بهینه‌سازی استوار رویکردی ریسک‌گریز جهت رویارویی با عدم قطعیت در مسائل بهینه‌سازی ارائه می‌دهد. طبق پیشوایی و همکاران زمانی می‌توان به یک راه حل مسأله‌ی بهینه‌سازی، استوار گفت که بطور هم‌زمان شامل موجه بودن و بهینه بودن پایدار باشد. موجه بودن پایدار بدان معنی است که راه حل ارائه شده باید برای (تقریباً) تمام مقادیر ممکن پارامترهای غیرقطعی موجه باقی بماند، و بهینگی پایدار یعنی مقدار تابع هدف برای (تقریباً) تمام مقادیر ممکن پارامترهای غیرقطعی، نزدیک به مقدار بهینه بماند یا حداقل انحراف را از مقدار بهینه داشته باشد.

میزان عدم قطعیت موجود در پارامترهای مسأله، به دلیل سختی کنترل و تخمین میزان افزایش می‌یابد. برای مثال تعداد سهم‌های موجود در صندوق به عنوان یک پارامتر، از عوامل زیادی تأثیر می‌پذیرد که کمبود دانش درباره رفتار هر یک از آنان موجب عدم قطعیت برآورد شده می‌باشد. سایر پارامترهای مسأله مانند بازده و همبستگی نیز کم و بیش شرایطی مشابه پارامتر تعداد سهم موجود در صندوق را دارند. بنابراین با توجه به ضعف دانش ما در شناخت عوامل تأثیرگذار و مکانیزم و میزان تأثیر آن بر پارامترهای مسأله مورد بررسی، اکثر این پارامترها می‌توانند از عدم قطعیت قابل توجهی برخوردار باشند. در این حالت برای برآورد پارامترهای دارای عدم قطعیت، معمولاً تا حد ممکن اطلاعات و داده‌های مرتبط با پارامترهای موردنظر جمع‌آوری شده و سپس با استفاده از نظرات میدانی خبرگان در مورد حدود و شکل تغییرات پارامترهای موردنظر مورد مطالعه، تصمیم‌گیری می‌شود. در این بخش برای پاسخ به این دغدغه و کنترل نوسانات پارامترها و به منظور بهره‌گیری از مزیت‌ها و قابلیت‌های توأم برنامه‌ریزی امکانی و برنامه‌ریزی استوار بطور هم‌زمان، براساس تلاش‌های پیشوایی و همکاران که رویکرد جدیدی را با نام "برنامه‌ریزی امکانی استوار" توسعه دادند، استفاده شده است.

از برنامه‌ریزی امکانی (که خود زیر مجموعه‌ای از برنامه‌ریزی ریاضی فازی است) برای برخورد با عدم قطعیت لحاظ شده در پارامترهای مدل که ناشی از فقدان دانش کافی درباره مقادیر واقعی آن‌هاست، استفاده می‌شود که معمولاً با توزیع‌های امکانی مدل می‌گردند. با استناد به تئوری امکان تعدادی روش برای برخورد با عدم قطعیت موجود در توابع هدف و محدودیت‌ها توسعه داده شده است که از بین آن‌ها ما برای توسعه مدل برنامه‌ریزی امکانی استوارمان از رویکرد

برنامه ریزی محدودیت شانسی^۸ استفاده کرده ایم. با این حال مدل های برنامه ریزی امکانی استوار ساده تری نیز با بکارگیری دیگر روش های برنامه ریزی امکان می تواند توسعه داده شود.

برنامه ریزی محدودیت شانسی یک رویکرد برنامه ریزی امکانی قابل اطمینان است که بر مفاهیم عمیق ریاضی مثل مقدار انتظاری^۹ یک عدد فازی و سنجه های امکان^{۱۰} و ضرورت^{۱۱} متکی است و تصمیم گیرنده را قادر می سازد که سطح محافظه کاری ارضای محدودیت ها را کنترل نماید. همچنین این رویکرد به خوبی فرم های متنوعی از اعداد فازی مثل فرم های مثلثی و ذوزنقه ای را پشتیبانی کند.

از طرفی تئوری برنامه ریزی یا بهینه سازی استوار^{۱۲} یک رویکرد ریسک گریز برای برخورد با مسائل بهینه سازی در شرایط عدم قطعیت است. در این رویکرد تلاش می شود علاوه بر بهبود عملکرد سیستم مورد بهینه سازی، نوسان عملکرد پیش بینی شده برای سیستم نیز کمینه گردد. به عبارت دیگر، در این رویکرد تصمیم گیرنده ترجیح می دهد در کنار پرداختن به بهبود عملکرد متوسط سیستم، حالات حدی و حالاتی که سیستم عملکرد بسیار بدی دارد را نیز مدنظر قرار دهد. این رویکرد که در زمینه های تحقیقاتی مختلفی توسط محققان مورد توجه قرار گرفته است، در دهه اخیر به دلیل نیاز جامعه بشری به مدیریت و کنترل ریسک، بیشتر مورد توجه بوده است.

مدل پایه ای

Basic model (BM)

$$\text{Max } Z_1 = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n \tilde{\rho}_{ij} x_{ij} \quad (1)$$

$$\text{Max } Z_2 = \sum_{j=1}^n \tilde{\mu}_j w_j \quad (2)$$

$$\begin{aligned} \text{s.t.} \\ \sum_{j=1}^n y_j \leq \tilde{k}, \end{aligned} \quad (3)$$

Constraints (4)-(9).

⁸ Chance Constrained Programming

⁹ Expected Value

¹⁰ Possibility

¹¹ Necessity

¹² Risk-averse Robust programming or optimization

۳-۵- مدل برنامه‌ریزی امکانی استوار ارائه شده

برای ساختن مدل پایه‌ای برنامه‌ریزی محدودیت شانس امکانی از عملگر مقدار انتظاری برای مدل کردن پارامترهای غیردقیق تابع هدف و از سنجه ضرورت برای مدل کردن پارامترهای غیردقیق محدودیت‌های شانس استفاده شده است. بنابراین مدل برنامه‌ریزی محدودیت شانس امکانی می‌تواند بصورت زیر فرموله شود.

Possibilistic chance-constrained programming model (PCCP)

$$\text{Max } E[Z_1] = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n E[\tilde{\rho}_{ij}] x_{ij} \quad (10)$$

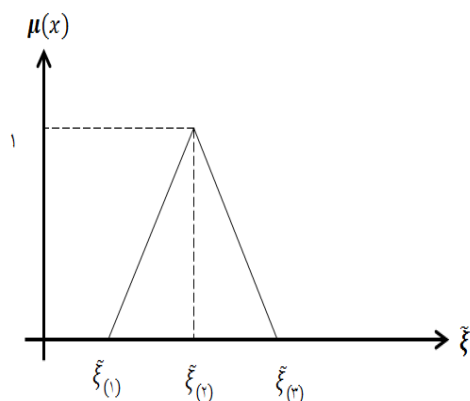
$$\text{Max } E[Z_2] = \sum_{j=1}^n E[\tilde{\mu}_j] w_j \quad (11)$$

s.t.

$$\text{Nec} \left\{ \sum_{j=1}^n y_j \leq \tilde{k} \right\} \geq \alpha, \quad (12)$$

Constraints (4)-(9).

در اینجا ما برای مدل کردن پارامترهای غیر دقیق توابع هدف و محدودیت (۱۲) از توزیع امکانی مثلثی که می‌تواند با سه نقطه حساس (یعنی: $\tilde{\xi} = (\tilde{\xi}_{(1)}, \tilde{\xi}_{(2)}, \tilde{\xi}_{(3)})$) تعریف شوند، استفاده نموده‌ایم. در این مدل پارامترهایی که دارای عدم قطعیت هستند ρ_{ij} ، μ_j و k می‌باشند که برای ضریب همبستگی و بازده سهم ما از یک انحراف استاندارد ($\pm 1\sigma$) برای حد بالا و پایین پارامترهای غیر قطعی استفاده کرده‌ایم. مثلاً در شکل زیر $\tilde{\xi}_{(2)}$ مقدار اصلی بدست آمده برای ضریب همبستگی و $\tilde{\xi}_{(1)}$ ، $\tilde{\xi}_{(3)}$ مقادیر کران بالا و پایین برای پارامتر مورد نظر می‌باشند. در ضمن برای تعداد سهم (k) مقدار ۲۰ سهم برای آن و همچنین حد بالا و پایین ۲۵ و ۱۵ در نظر گرفته شده است.



شکل ۱: توزیع امکانی مثلثی پارامتر فازی ξ

با در نظر گرفتن اینکه محدودیت شامل این سری از متغیرها، حداقل با درجه ارضای α باید برقرار شود، مدل قطعی شده‌ی این مدل بصورت زیر تعریف خواهد شد (مدل باز شده‌ی حالت (PCCP):

Crisp counterpart of PCCP

$$\text{Max } E[Z_1] = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n \left(\frac{\rho_{ij(1)} + \rho_{ij(2)} + \rho_{ij(3)}}{3} \right) x_{ij} \quad (13)$$

$$\text{Max } E[Z_2] = \sum_{j=1}^n \left(\frac{\mu_{j(1)} + \mu_{j(2)} + \mu_{j(3)}}{3} \right) w_j \quad (14)$$

s.t.

$$\sum_{j=1}^n y_j \leq k_{(2)} - \alpha(k_{(2)} - k_{(1)}), \quad (15)$$

Constraints (4)-(9).

به طور معمول برای تعیین مقدار سطح اطمینان محدودیت‌ها، تصمیم گیر چند مقدار اولیه را به صورت قضاوتی^{۱۳} تعیین کرده و در یک آزمایش تعاملی از بین آن‌ها مقداری را که بیش از همه تصمیم گیر را ارضاء می‌کند، به عنوان مقدار نهایی برمی‌گزیند. پرواضح است که در این روش مقدار نهایی سطوح اطمینان با یک رویکرد قضاوتی که به هیچ وجه بهینه بودن مقدار سطوح اطمینان را تضمین نمی‌کند، انتخاب می‌شوند. این روش بسیار شبیه به رویکرد تحلیل حساسیت که در آن تصمیم گیر مقدار پارامترها با به منظور تحلیل تاثیر آن‌ها بر خروجی‌های مدل تغییر می‌دهد، می‌باشد. در نتیجه این روش در زمره روش‌های انفعالی^{۱۴} یا در بهترین حالت تعاملی^{۱۵} طبقه‌بندی می‌شود. همچنین باید در نظر داشت که وقتی تعداد محدودیت‌های شانس‌افزایش می‌یابد، تعداد آزمایشات مورد نیاز برای تعیین مقداری مناسب برای سطوح اطمینان به شدت (به طور نمایی) افزایش می‌یابد. در نتیجه اجرا و ارزیابی این تعداد آزمایشات به طور دستی امکان‌پذیر نبوده و نیازمند انجام شبیه‌سازی‌های وقت‌گیر و پیچیده خواهد بود. در رابطه با تابع هدف نیز مدل به کمینه کردن امید ریاضی (مقدار متوسط) تابع هدف می‌پردازد. لذا مدل نسبت به انحراف تابع هدف نسبت به مقدار متوسط حساس نمی‌باشد. به عبارت دیگر، تصمیم حاصل از حل مدل ممکن است منجر به انحراف قابل توجه از مقدار برنامه‌ریزی شده (حاصل از کمینه کردن امید ریاضی) در برخی حالات واقعی شود که این خود می‌تواند ریسک قابل توجهی را به صاحب تصمیم تحمیل کند. در ادامه به منظور رفع اشکالات فوق‌الذکر مدل‌هایی تحت رویکردی با نام برنامه‌ریزی امکانی استوار ارائه خواهند شد.

$$\text{Min } \theta_1 = E[Z_1] + \eta(E[Z_1] - Z_{1\min}) + \delta(k_{(2)} - \alpha(k_{(2)} - k_{(1)}) - k_{(1)}) \quad (16)$$

$$\text{Min } \theta_2 = E[Z_2] + \eta'(E[Z_2] - Z_{2\min}) + \delta'(k_{(2)} - \alpha(k_{(2)} - k_{(1)}) - k_{(1)}) \quad (17)$$

s.t.

$$\sum_{j=1}^n y_j \leq k_{(2)} - \alpha(k_{(2)} - k_{(1)}), \quad (18)$$

Constraints (4)-(9).

¹³ Subjectively

¹⁴ Reactive

¹⁵ Interactive

که در آن

$$E[Z_1] = - \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n \left(\frac{\rho_{ij(1)} + \rho_{ij(2)} + \rho_{ij(3)}}{3} \right) x_{ij} \quad (19)$$

$$E[Z_2] = - \sum_{j=1}^n \left(\frac{\mu_{j(1)} + \mu_{j(2)} + \mu_{j(3)}}{3} \right) w_j \quad (20)$$

که در آن

$$Z_{1min} = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n \rho_{ij(1)} x_{ij} \quad (21)$$

$$Z_{2min} = \sum_{j=1}^n \mu_{j(1)} w_j \quad (22)$$

۳-۶- تحلیل و توضیح رویکرد برنامه ریزی امکانی استوار ارائه شده برای مدل:

در بخش اول این تابع همانند مدل پایه‌ای برنامه ریزی محدودیت‌های شانس‌ی امکانی، به مینیم سازی مقدار انتظاری تابع هدف پرداخته می‌شود. در قسمت دوم، به حداقل سازی اختلاف میان بدترین حالت تابع هدف و حالت انتظاری آن پرداخته می‌شود. (η') وزن (اهمیت) این عبارت را در مقابل دیگر عبارات تابع هدف را نشان می‌دهد. در واقع این عبارت استواری بهینگی بردار حل را کنترل می‌نماید؛ و قسمت سوم، سطح محافظه کاری هر یک از محدودیت‌های شانس‌ی را تعیین می‌نماید که در آن δ (δ') واحد جریمه برای تخطی احتمالی از هر محدودیت شانس‌ی شامل پارامتر (های) غیر دقیق است و $(k_{(2)} - \alpha(k_{(2)} - k_{(1)}) - k_{(1)})$ اختلاف بین بدبینانه‌ترین مقدار پارامتر غیردقیق و مقداری که در محدودیت استفاده شده است را نشان می‌دهد. در واقع این عبارت استواری شدنی بردار حل را کنترل می‌کند.

بر خلاف مدل پیشین، در این مدل سطح اطمینان محدودیت‌های شانس‌ی یک متغیر بوده و مقادیر آن با توجه به تابع هدف و محدودیت‌ها به طور بهینه انتخاب می‌شود (خود مدل به صورت خود کار بهترین مقدار را برای α پیدا می‌کند). در نتیجه، این مدل از انتخاب قضاوتی مقادیر سطوح اطمینان جلوگیری کرده و بهینه بودن مقدار آن‌ها را تضمین می‌کند. به علاوه اینکه این

مدل برای تعیین مقدار بهینه سطوح اطمینان احتیاجی به آزمایش های پیچیده و زمان بر مانند آزمایش های شبیه سازی ندارد.

با توجه به مطالب فوق الذکر می توان بیان کرد که مدل ارائه شده جواب بهینه را با ایجاد یک توازن منطقی بین سه عبارت تابع هدف یا به عبارت دیگر (۱) عملکرد متوسط، (۲) استواری بهینگی و (۳) استواری شدنی بودن، تعیین می کند.

سوال ۱: تحلیل عملکرد مدل برنامه ریزی امکانی استوار در مقایسه با مدل به صورت محدودیت شانس

حل مدل در این بخش به منظور نمایش کارایی و تحلیل عملکرد مدل های برنامه ریزی امکانی استوار توسعه داده شده به پیاده سازی این مدل ها روی مسأله مورد مطالعه می پردازیم. از آن جا که مدل PCCP قدرت تنظیم مقادیر سطح اطمینان محدودیت های شانس را ندارد، نتایج برای این مدل در سه سطح اطمینان متفاوت یعنی (۰/۴، ۰/۶ و ۰/۸) گزارش شده است. سپس برای سنجش مطلوبیت جواب های بدست آمده از حل مدل ها با استفاده از داده های اسمی، ده سری داده واقع نما^{۱۶} به صورت تصادفی و یکنواخت تولید شده و جواب های به دست آمده در مرحله قبلی با استفاده از این ده سری داده مورد آزمایش قرار گرفته است. داده های واقع نما به این گونه تولید می شوند که داده های اصلی برای پارامترهای مدل (k, μ, ρ) را در یک عدد ثابت ضرب می کنیم تا اعتبار مدل را نسبت به مدل محدودیت شانس با داده های مختلف و متفاوت بسنجیم تا از خوبی عملکرد آن مطمئن شویم. برای مثال اگر $\tilde{\xi} = (\tilde{\xi}_{(1)}, \tilde{\xi}_{(2)}, \tilde{\xi}_{(3)})$ یک پارامتر غیردقیق با توزیع مثلی باشد، داده واقع نما مرتبط با استفاده از توزیع تصادفی یکنواخت بین دو نقطه حدی آن (یعنی $\xi_{(1)}, \xi_{(3)}$) تولید می شود. سپس جواب های بدست آمده تحت داده های اسمی (x^*, y^*) در مدل جای گذاری می شوند. در این مدل R که میزان تجاوز از محدودیت ها را نمایش می دهند، تنها متغیر تصمیم مدل می باشند. اندیس $real$ هم برای پارامترهایی که به جای آن ها از داده های واقع نمایی شده استفاده شده است، به کار رفته است.

¹⁶ Realization

Realization model

$$\text{Max } \Psi_1 = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n \rho_{ij(\text{real})} x_{ij}^* - \delta R \quad (23)$$

$$\text{Max } \Psi_2 = \sum_{j=1}^n \mu_{j(\text{real})} w_j^* - \delta' R \quad (24)$$

s.t.

$$\sum_{j=1}^n y_j^* \leq k_{(\text{real})} + R, \quad (25)$$

$$\sum_{j=1}^n w_j^* = 1, \quad (26)$$

$$\sum_{j=1}^n x_{ij}^* = 1, \quad \forall i, \quad (27)$$

$$Ly_j^* \leq w_j^* \leq Uy_j^*, \quad \forall j, \quad (28)$$

$$x_{ij}^* \leq y_j^*, \quad \forall i, j, \quad (29)$$

$$(30)$$

$$R \geq 0.$$

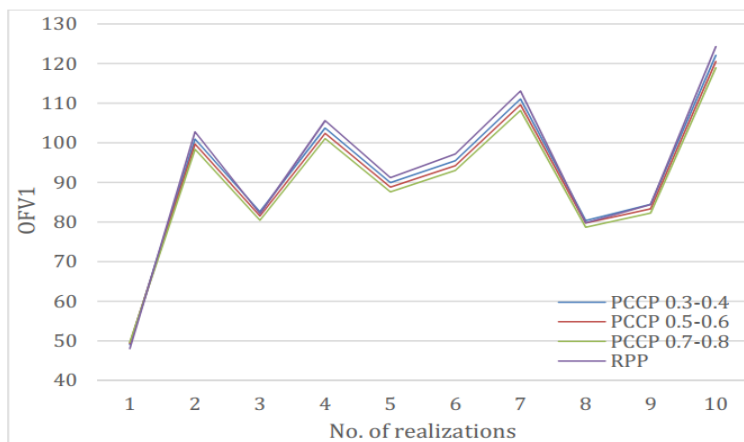
مقدار متوسط عملکرد و انحراف از معیار جواب‌های بدست آمده از مدل‌های توسعه داده شده تحت ده سری داده واقع‌نمایی شده به عنوان معیار ارزیابی عملکرد مدل‌ها مورد استفاده قرار گرفته است. نتایج آزمایشات در جدول ۱ نمایش داده شده است. با توجه به نتایج نمایش داده شده در جدول ۱ از آنجایی که برای هر دو توابع هدف، شاخص‌های ارائه شده برای مدل «RPP» مقدار بهتری را

در میان سه مدل دیگر نشان می‌دهد، مزیت استفاده از این مدل روشن می‌گردد. نحوه‌ی عملکرد این سه مدل بصورت شماتیک به تفکیک توابع هدف در شکل‌های ۲ و ۳ نشان داده شده است.

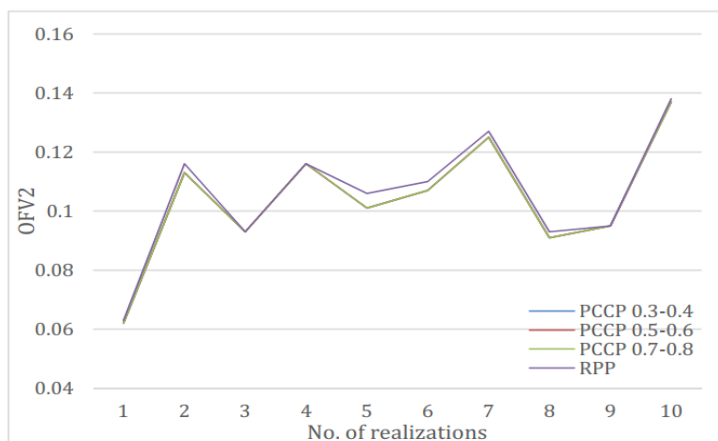
جدول ۱: نتایج حاصل از اجرای مدل‌ها با استفاده از داده‌های واقع نمایی شده

No. of Realization	PCCP 0.4		PCCP 0.6		PCCP 0.8		RPP	
	تابع هدف	تابع هدف	تابع هدف	تابع هدف	تابع هدف	تابع هدف	تابع هدف	تابع هدف
	اول	دوم	اول	دوم	اول	دوم	اول	دوم
۱	۴۹.۰۷۸	۰.۰۶۲	۴۹.۳۶۷	۰.۰۶۲	۴۹.۶۵۴	۰.۰۶۲	۴۸.۰۷۷	۰.۰۶۳
۲	۱۰۰.۹۷۶	۰.۱۱۳	۹۹.۶۷۳	۰.۱۱۳	۹۸.۳۶۶	۰.۱۱۳	۱۰۲.۸۰۸	۰.۱۱۶
۳	۸۲.۶۱۷	۰.۰۹۳	۸۱.۵۵۱	۰.۰۹۳	۸۰.۴۸۱	۰.۰۹۳	۸۲.۱۱۵	۰.۰۹۳
۴	۱۰۳.۷۳	۰.۱۱۶	۱۰۲.۳۹۲	۰.۱۱۶	۱۰۱.۰۴۹	۰.۱۱۶	۱۰۵.۶۱۲	۰.۱۱۶
۵	۸۹.۹۶۱	۰.۱۰۱	۸۸.۸	۰.۱۰۱	۸۷.۶۳۵	۰.۱۰۱	۹۱.۱۹۲	۰.۱۰۶
۶	۹۵.۴۶۹	۰.۱۰۷	۹۴.۲۳۶	۰.۱۰۷	۹۳.۰۰۱	۰.۱۰۷	۹۷.۲	۰.۱۱
۷	۱۱۱.۰۷۴	۰.۱۲۵	۱۰۹.۶۴	۰.۱۲۵	۱۰۸.۲۰۳	۰.۱۲۵	۱۱۳.۰۸۸	۰.۱۲۷
۸	۸۰.۳۸۱	۰.۰۹۱	۷۹.۷۳۹	۰.۰۹۱	۷۸.۶۹۳	۰.۰۹۱	۷۹.۸۴۶	۰.۰۹۳
۹	۸۴.۴۵۳	۰.۰۹۵	۸۳.۳۶۳	۰.۰۹۵	۸۲.۲۷	۰.۰۹۵	۸۴.۳۸۵	۰.۰۹۵
۱۰	۱۲۲.۰۹	۰.۱۳۷	۱۲۰.۵۱۴	۰.۱۳۷	۱۱۸.۹۳۳	۰.۱۳۷	۱۲۴.۳۰۴	۰.۱۳۸
Avr.	۹۱.۹۸۲	۰.۱۰۴	۹۰.۹۲۷	۰.۱۰۴	۸۹.۸۲۸	۰.۱۰۴	۹۲.۸۶۲	۰.۱۰۶
St.D.	۲۰.۰۷۱	۰.۰۲۱	۱۹.۵۶۸	۰.۰۲۱	۱۹.۰۹۲	۰.۰۲۱	۲۱.۱۹۵	۰.۰۲۱۰

شکل ۲ و ۳، نحوه عملکرد RPP (حل با استفاده از رویکرد استوار) را نسبت به PCCP (حل بدون اعمال رویکرد استوار) در دو تابع هدف مدل ما نشان می‌دهند که نمایانگر بهتر بودن استفاده از الگوریتم استوار نسبت به عدم استفاده از آن برای حل مدل می‌باشد.



شکل ۲: نتایج حاصل از اجرای مدل‌ها تحت تابع هدف اول با استفاده از داده‌های واقعی شده



شکل ۳: نتایج حاصل از اجرای مدل‌ها تحت تابع هدف دوم با استفاده از داده‌های واقعی شده

سوال های دوم و سوم : آیا میان صندوق شاخصی بهبود یافته و شاخص کل همبستگی وجود دارد و عملکرد صندوق شاخصی بهبود یافته از عملکرد بازار بهتر خواهد بود.

هدف از انجام این تحقیق بررسی اثر بخشی رویکرد برنامه ریزی امکانی استوار در تشکیل یک صندوق ردیابی کننده شاخص است به گونه ای که پرتفوی حاصل علاوه بر پیروی از شاخص کل احتمال عملکرد بهتر از شاخص وجود داشته باشد.

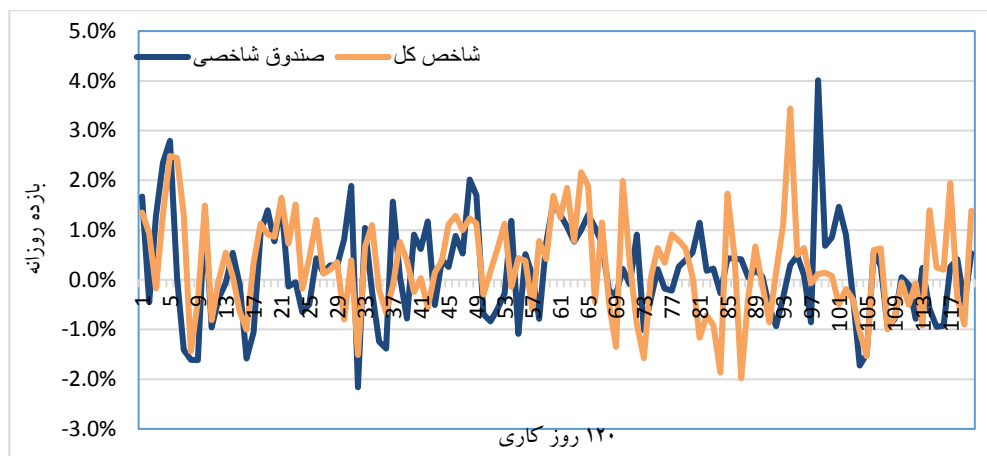
در ادامه مدل ارائه شده را با استفاده از نرم افزار ۲۴ GAMS حل کرده و جواب حاصل از آن را با شاخص کل مقایسه می کنیم.

در این روش اندازه صندوق شاخصی را کمتر مساوی مقدار K (دلخواه مثلاً ۲۰) نشان می دهیم تا مدل چند هدفی ما جواب با تعداد مشخصی از سهام را برای ما به نمایش بگذارد. جواب بدست آمده را با توجه به نمودار ها با شاخص کل مقایسه نموده ایم تا نسبت عملکرد صندوق شاخصی را در مقایسه با شاخص کل از لحاظ بازده و ضریب همبستگی نمایش دهیم.

در این مرحله ما ابتدا مدل قطعی را حل می کنیم سپس این نقطه و جواب آن را با استفاده از برنامه ریزی امکانی استوار حل خواهیم کرد تا ببینیم که نسبت بهبود در ضریب همبستگی و همچنین میزان بازده به چه اندازه خواهد بود.

حل مدل قطعی

این سهم ها بر اساس دو معیار ضریب همبستگی و بازده برای صندوق شاخصی انتخاب شده اند. نمودار زیر درصد بازده روزانه و میزان همبستگی صندوق شاخصی بهبود یافته در مقایسه با شاخص کل را نشان می دهد. محور عمودی این نمودار درصد بازده و محور افقی آن ۱۲۰ روز نشان می دهد:



شکل ۴: نمودار بازده روزانه صندوق شاخصی در مقایسه با شاخص کل در حل مدل قطعی

در شکل ۴، به خوبی مشخص است که صندوق شاخصی که از حل مدل قطعی به دست آمده است از فرم تغییرات شاخص کل به خوبی پیروی نمی کند و همبستگی کمی بین شاخص کل و صندوق شاخصی موجود است که میزان این همبستگی برابر با $((۳۹,۱\%))$ می باشد که نشانه عملکرد نامطلوب حل مدل قطعی دارد.

برای محاسبه بازدهی کل با توجه به فرمول زیر اقدام نموده ایم که d نشان دهنده تعداد روز های تست می باشد (در اینجا ۱۲۰ روز):

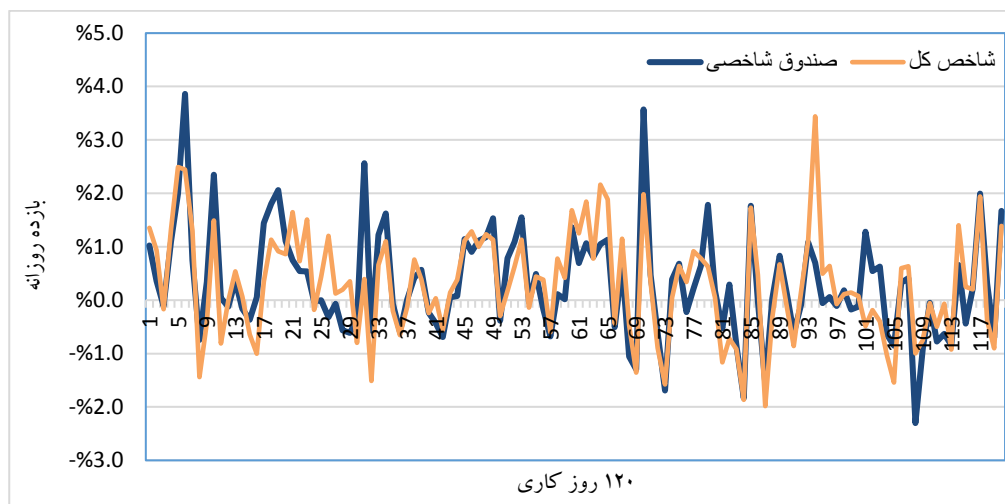
$$\text{متوسط بازده کل} = \frac{\sum_{t=1}^d (\mu_{\text{شاخص}} - \mu_{\text{صندوق}})}{d} \quad (۳۱)$$

با توجه به فرمول (۳۱)، بازدهی کل بدست آمده برای صندوق شاخصی بهبود یافته ما $((۰,۱۲\%))$ در حالت حل قطعی می باشد نشان از پایین تر بودن بازدهی صندوق نسبت به شاخص کل می باشد.

حل مدل با روش برنامه ریزی امکانی استوار

برای تست کردن کارایی مدل ما از ۳ سال داده مورد مطالعه ۲/۵ آن را برای حل مدل و ۶ ماه باقیمانده را برای تست مدل پیشنهادی انتخاب کرده ایم که با توجه به ۲۰ روز کاری در ماه برابر ۱۲۰ روز می باشد. شکل ۵، درصد بازده روزانه و میزان همبستگی صندوق شاخصی بهبود یافته در

مقایسه با شاخص کل را نشان می‌دهد. محور عمودی این نمودار درصد بازده و محور افقی آن ۱۲۰ روز نشان می‌دهد:



شکل ۵: نمودار بازده روزانه صندوق شاخصی در مقایسه با شاخص کل در حل مدل استوار

در شکل ۵، به خوبی مشخص است که صندوق شاخصی که از حل مدل به روش برنامه ریزی امکانی استوار به دست آمده است از فرم تغییرات شاخص کل به خوبی پیروی میکند و همبستگی بالایی بین شاخص کل و صندوق شاخصی موجود است که میزان این همبستگی برابر با $(.۷۷,۳۲\%)$ می‌باشد و در مقایسه با حل مدل قطعی همبستگی به مراتب بالاتر می‌باشد و نشان از عملکرد خوب برنامه ریزی امکانی استوار دارد.

بازدهی کل بدست آمده برای صندوق شاخصی بهبود یافته ما $(.۰۱۴۸\%)$ در حالت حل با روش برنامه ریزی امکانی استوار می‌باشد نشان از برتری نسبی بازدهی صندوق نسبت به شاخص کل را دارد. نکته اینکه هزینه‌های دیگری نیز کاهش یافته است که در مدل ذکر نشده است مثل کاهش در هزینه‌های معاملاتی سهم‌های صندوق نسبت به اینکه همه سهم‌ها را در صندوق داشته باشیم و همچنین در زمان پیگیری و انجام معاملات صندوق شاخصی صرفه جویی می‌شود.

۴- نتیجه گیری

در گذشته مدل های سبد مالی که جهت توسعه ارائه می گردید خالی از هر گونه عدم قطعیت بود و تمام ورودی های می باشد مسائل به صورت قطعی فرض می شد، که این فرض یک فرض ناقص می باشد. رویکردهایی کلاسیک جهت ورود این عدم قطعیت به مدل های ریاضی بسیار سخت و ناکارآمد هستند. این رویکردها مانند آنالیز حساسیت و یا برنامه ریزی تصادفی دارای مشکلات فراوانی هستند. بهینه سازی استوار بهترین رویکرد جهت در نظر گرفتن عدم قطعیت در مدل های ریاضی می باشد. در این تحقیق تلاش شد که تلفیق بهینه سازی استوار و برنامه ریزی امکانی را برای حل مدل صندوق شاخصی معرفی شده به کار ببریم. در بخش مرور ادبیات این تحقیق تمرکز بیشتر بر روی رویکرد بهینه سازی استواری بود که توسط پیشوایی و همکاران ایجاد شد، زیرا این رویکرد علاوه بر حل به صورت استوار مدل را به صورت فازی در نظر می گیرد و با تلفیق برنامه ریزی امکانی و بهینه سازی استوار یک مدل برنامه ریزی امکانی استوار به وجود می آورد که کارایی بالایی را در حل مدل ها از خود نشان می دهد. برای قسمت فازی این روش از محدودیت شانس ضرورت در روش امکان استفاده شد که مدل را به حالت سختگیرانه حل می کند.

برای حل مدل داده هایی از بورس تهران برای مدت ۳ سال از ابتدای سال ۸۹ تا ابتدای سال ۹۲ و تعداد ۲۰۶ سهم مختلف انتخاب گردید. داده هایی که عدم قطعیت داشتند ضریب همبستگی، تعداد سهم موجود در صندوق و بازده ماهانه هر سهم بودند. مدل پیشنهادی این تحقیق نیز یک مدل مکان یابی حمل و نقل بود که با تغییراتی کاربردی که در هر دو مورد مطالعه کاربرد دارد به یک مدل کارا برای صندوق شاخصی بهبود یافته تبدیل شد و در نهایت نیز جواب های قابل قبول و با اعتباری از آن به دست آمد. برتری این مدل به مدل های قبل از خود برقراری همزمان همبستگی و افزایش بازده در یک صندوق شاخصی می باشد که باعث ایجاد صندوق شاخصی بهبود یافته می شود و نسبت به تحقیقات مشابه صندوقی با حداکثر ضریب همبستگی با شاخص کل ایجاد می کند و از رویکرد جدیدی در بهینه سازی استوار استفاده شده است. نظر به نتایج حاصل از این پژوهش و محدودیت های آن پیشنهادهای زیر برای پژوهش های آتی ارائه می شود:

- ۱- پیاده سازی هزینه ی معاملات بر روی مدل فوق که باعث می شود تحلیل ها از نتایج واقع بینانه تر از مدل این پایان نامه بدست آورد و در بازارهایی که هنوز کارا نیستند کاربرد زیادی دارد.

- ۲- استفاده از روش های حل دیگر برای مدل مثل شبکه های عصبی و الگوریتم ژنتیک و....
- ۳- پیاده سازی مدل فوق با استفاده از داده های بورس های جهانی مثل نزدک، S&P، داو جونز، یورو استاکس و ..
- ۴- در نظر گرفتن پارامتر ریسک در مدل پیشنهادی این پژوهش.
- ۵- تمرکز و یافتن مقالاتی در زمینه ی لجستیک و حمل و نقل که می توان از مفهوم آنها در زمینه ی صندوق شاخصی بهره گرفت، زیرا مفاهیم تقریباً یکسانی در این دو مورد مطالعه وجود دارد.
- ۶- امکان سنجی ردیابی شاخص با بهره گیری از سایر دارایی های مالی قابل معامله در بازار بورس

منابع و مآخذ

۱. بحرالعلوم، محمد مهدی؛ تهرانی، رضا؛ حنیفی، فرهاد (۱۳۹۱)، «طراحی یک الگوریتم فراابتکاری جهت انتخاب پورتنوی بهینه ردیابی کننده شاخص بورس تهران»، تحقیقات حسابداری، شماره ۱۳، ص ۴۳-۲۰.
۲. بحرالعلوم، محمد مهدی (۱۳۹۳)، «ارائه چهارچوبی جهت تشکیل صندوق شاخصی استوار در بورس تهران». رساله دکتری، دانشکده مدیریت و حسابداری، دانشگاه علامه طباطبائی
۳. بحرالعلوم، محمد مهدی؛ فلاح شمس لیالستانی، میرفیض؛ بولو، قاسم (۱۳۹۴). «ارائه یک مدل خطی استوار جهت تشکیل صندوق شاخصی»، مطالعات مدیریت صنعتی، شماره ۳۹، ص ۱۱۴-۹۱
۴. بحرالعلوم، محمد مهدی؛ امیری، مقصود؛ فلاح شمس لیالستانی، میرفیض (۱۳۹۶)، «ارائه یک الگوی استوار با درجه محافظه کاری تنظیم شدنی برای تشکیل صندوق شاخصی در بورس اوراق بهادار تهران»، مدیریت دارایی و تامین مالی، شماره ۲، ص ۱۱۳-۱۲۸
۵. حجازی، رضوان؛ داود، جعفری سرشت؛ دلشادی، محمود (۱۳۹۰)، «تشکیل صندوق شاخصی بهبود یافته با استفاده از الگوریتم ژنتیک»، فصلنامه بورس اوراق بهادار شماره ۱۴، ص ۱۳۵-۱۵۷
۶. کلانتری، محدثه؛ پیشوایی، میرسامان (۱۳۹۵)، «یک مدل برنامه ریزی استوار امکانی برای برنامه ریزی اصلی زنجیره تامین دارو»، پژوهش های مهندسی صنایع در سیستم تولید، شماره ۷، ص ۶۷-۴۹
۷. قرخانی، محسن؛ سجادی، سید جعفر؛ صفری، احرام (۱۳۹۲)، «بهینه سازی استوار سبد مالی با رویکرد CAPM»، مدیریت تولید و عملیات، دوره چهارم پیاپی ۶، شماره ۱، ص ۶۸-۶۱.
۸. شوندی، حسن، (۱۳۸۵). «نظریه مجموعه های فازی و کاربرد آن در مهندسی صنایع و مدیریت»، انتشارات گسترش علوم پایه
۹. عباسی، ابراهیم؛ اکبری، صمد (۱۳۹۳). «کاربرد الگوریتمهای تبرید شبیه سازی شده و ژنتیک در تشکیل صندوق شاخصی»، مهندسی مالی و مدیریت اوراق بهادار، شماره ۲۰
۱۰. قهطرانی، علیرضا (۱۳۹۱)؛ «به کارگیری بهینه سازی استوار در مسئله انتخاب سبد سرمایه». رساله دکتری، دانشکده مهندسی صنایع، دانشگاه خواجه نصیر طوسی
11. Meade N, Salkin GR (1990). «Developing and maintaining an equity index fund». Journal of the Operational Research Society 41(7):599-607.

12. Beasley JE, Meade N, Chang TJ(2003). «An evolutionary heuristic for the index tracking problem». *European Journal of Operational Research*; 148(3):621–643.
13. DeMiguel V, Nogales FJ(2008). «Portfolio selection with robust estimation". *Operations Research*.
14. Erdogan E, Goldfarb D, Iyengar G(2004). «Robust portfolio management». CORC Technical Report TR-2004–11, Columbia University.
15. Ben-Tal A, Nemirovski A(1998). «Robust convex optimization». *Mathematics of Operations Research* ;23:769–805..
16. Bertsimas D, Pachamanova D(2008). «Robust multiperiod portfolio management in the presence of transaction costs». *Computers and Operations Research* 2008;35(1):3–17.
17. Pinar MC- ,Tu" tu" ncu" RH(2005). «Robust profit opportunities in risky financial portfolios». *Operations Research Letters* ;33(4):331–40.
18. Cornuejols G, Tu" tu" ncu"(2007). «R Optimization methods in finance. Cambridge University Press».
19. Bertsimas D, Sim M(2003). «Robust discrete optimization and network flows». *Mathematical Programming*;98(1–3):49–71
20. Bertsimas, D,ThieleA(2006). «Robust and data-driven optimization:modern decision making under uncertainty». *Tutorials in Operations Research*;4: 95–122.
21. Chen Chen, Roy H. Kwon(2012). «Robust portfolio selection for index tracking». *Computers & Operations Research* 2012;39;829-837
22. M. Pishvae, J. Razmi, and S. Torabi(2012), «Robust possibilistic programming for socially responsible supply chain network design: A new approach», *Fuzzy Sets and Systems*, vol. 206, pp. 1-20.
23. M. Pishvae and S. Torabi(2010), «A possibilistic programming approach for closed-loop supply chain network design under uncertainty», *Fuzzy Sets and Systems*, vol. 161, pp. 2668-2683.
24. D. Dubois and H. Prade(1998), «Possibility theory»: Springer.
25. C. Negoita, L. Zadeh, and H. Zimmermann(1978), «Fuzzy sets as a basis for a theory of possibility», *Fuzzy Sets and Systems*, vol. 1, pp. 3-28.

- A. Ben-Tal, L. El Ghaoui, and A. Nemirovski(2009), « Robust optimization» Princeton University Press.
26. J. M. Mulvey, R. J. Vanderbei, and S. A. Zenios(1995), «Robust optimization of large-scale systems», Operations research, vol. 43, pp. 264-281.
27. M. Inuiguchi and J. Ramıñk(2000), «Possibilistic linear programming: a brief review of fuzzy mathematical programming and a comparison with stochastic programming in portfolio selection problem»,Fuzzy Sets and Systems, vol. 111, pp. 3-28.
28. B. Liu and K. Iwamura(1998), «Chance constrained programming with fuzzy parameters», Fuzzy Sets and Systems, vol. 94, pp. 227-237.
29. S. Heilpern(1992), «The expected value of a fuzzy number», Fuzzy Sets and Systems, vol. 47, pp. 81-86, 1992.

Enhanced Index Fund Construction using Robust Possibilistic Programming

Maghsoud Amiri¹⁷

Shima Shahsavari¹⁸

Sajad lak Chalsepari ¹⁹

Abstract:

One of the main concerns of modeling is the adaptation of the mathematical model to reality, and in the real world of uncertainty one of the decisive cases ignored in the classical mathematical programming of these uncertainties. Robust optimization is one of the methods for uncertainly parameter management. In this research, study trying that from robust possibilistic programming to create an enhanced index fund that tracking the index. Enhanced index funds on the one hand trying to have the smallest deviation from the index, On the other hand, will try to achieve target returns than the index. This research model is solved by the real data on the stock exchange. Comparing the results of data analysis and solving the model with a robust feasibility approach points to good performance and high traceability of the improved indicator fund and the fund has a high positive correlation with the stock index and return more than index.

Keywords: Uncertainty, Enhanced index Fund, Robust Possibilistic Programming

JEL Classification: G11 ,C02 ,C60

17. Professor, Allame Tabatabaee University, Management & Accounting Faculty, Industrial Management group

18. Master of Financial Engineering Raja University. (Corresponding Author)
Shima.shahsavari69@gmail.com

19. Master of Financial Engineering Raja University