فصلنامه راهبرد مدیریت مالی
دانشگاه الزهرا
سال یازدهم، شماره چهل و دوم، پاییز ۱۴۰۲
صفحات ۱۲۶-۹۹

مقاله پژوهشی

بهینه‌سازی سبد سرمایه‌گذاری رمزارزی در شرایط عدم‌اطمینان با بکارگیری روش تحلیل پوششی داده‌ها-برنامه‌ریزی استوار [۱]

آذر غیاثی [۲]، علیرضا حمیدیه [۳]

تاریخ دریافت: ۱۴۰۱/۰۹/۲۴ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۲/۰۷/۰۱

چکیده

بهینه‌سازی سبد سرمایه‌گذاری از موضوعات حیاتی حوزه مدیریت سرمایه‌گذاری است. نوسانات مختلف بازارهای مالی و عدم‌قطعیت پارامترها، بکارگیری مدل‌های کلاسیک را با چالش جدی مواجه می‌کند. از این رو بهینه‌سازی مدل‌های مالی در شرایط عدم اطمینان جهت انطباق با دنیای واقعی مورد توجه محققان قرار گرفته است. در پژوهش حاضر یک مدل ترکیبی بهینه‌سازی با بکارگیری همزمان روش تحلیل پوششی داده‌ها و بهینه‌سازی استوار به منظور ارزیابی ریسک با ورودی‌ها وخروجی‌های غیرقطعی توسعه یافته است. جامعه آماری پژوهش از درگاه کوین مارکت‌کپ استخراج شده است که در آن از داده‌های روزآمد قیمت تعدیل شده ۳۷ رمز ارز برتر انتخابی برای برآورد ریسک و ایجاد پرتفوی بهینه مورد استفاده قرار گرفته است. یک رویکرد دو مرحله‌ای برای انتخاب و بهینه سازی سبد سهام، افزایش استواری فرایند سرمایه‌گذاری و ارزیابی جامع سهام مبتنی بر معیارهای مالی پیشنهاد شده است. در مرحله اول، ارزیابی کارایی سهام منتخب با استفاده از روش تحلیل پوششی داده‌ای - برنامه‌ریزی استوار [۴] (RDEA) انجام می شود. سپس در فاز دوم، با استفاده از مدل‌های میانگین نیم واریانس و میانگین انحراف مطلق استوار، میزان سرمایه‌گذاری در سهام واجد شرایط تعیین می شود. عملکرد رویکرد پیشنهادی در مطالعه موردی داده‌های رمز ارز با عدم‌قطعیت فزاینده مورد ارزیابی قرار می گیرد. نتایج مقایسه‌ای مدل های همتای استوار با دو سنجه ریسک نشان می دهد که مدل میانگین نیم واریانس عملکرد بهتری در انتخاب و بهینه سازی سبد سرمایه‌گذاری دارد.

واژگان کلیدی: بهینه سازی سبد سهام، تحلیل پوششی داده‌ها، برنامه‌ریزی استوار، میانگین نیمه واریانس، میانگین انحراف مطلق.

طبقه‌بندی موضوعی: *C52, C61, C67, G11*

---

۱. کد DOI مقاله: 10.22051/JFM.2023.42255.2766

۲. دانشجوی کارشناسی ارشد، گروه مهندسی صنایع، دانشگاه پیام نور، تهران، ایران. Email: ghyasi2000@gmail.com

۳. استادیار، گروه مهندسی صنایع، دانشگاه پیام نور، تهران، ایران. (نویسنده مسئول). Email: hamidieh@pnu.ac.ir

4. Robust, Data Envelopment Analysis

مقدمه

انتخاب و بهینه‌سازی پورتفولیو از موضوعات اصلی مطالعات مدیریت سرمایه‌گذاری هستند که همواره به عنوان یک مسیر تحقیقاتی مهم مورد توجه محققان بازارهای مالی بوده است. سرمایه‌گذاران بازارهای مالی به‌دنبال سبد متشکل از سهم‌هایی هستند که در محیط نامطمئن اقتصادی و اجتماعی عملکرد بهتری نسبت به سایر پرتفوی‌ها به خود اختصاص دهند (موکاشو[1]، ۲۰۲۲). از طرف دیگر تحصیل درآمد از سهم‌های منتخب برای سرمایه‌گذاران در فضای عدم اطمینان کار ساده‌ای نیست از این رو انتخاب سبد سهام به‌منظور حداکثرسازی سود و کاهش ریسک از دغدغه‌های سرمایه‌گذاران در بازارهای مالی است که با قضاوت تصمیم‌گیرندگان، اغلب نامطمئن بوده و با مقادیر پارامتری غیردقیق تبیین می شوند. در شرایط عدم‌قطعیت حوزه سرمایه‌گذاری، تخصیص سرمایه به دارایی‌ها یا پرتفوی ریسکی از نگرانی‌های عمده سرمایه‌گذاران محسوب می شود (ژانگ[2] و همکاران، ۲۰۲۳). علاوه بر این، واریانس به‌عنوان معیار ریسک نیز مشکلاتی را در مسائل پرتفوی مالی ایجاد می‌کند، به همین دلیل محققان سنجه‌های مختلفی را معرفی کردند که بتوانند ریسک واقعی سرمایه‌گذاری را اندازه گیری کنند. برخی از معیارهای ریسک پرتفوی مالی عبارتند از نیم واریانس[3]، قدر مطلق انحرافات[4]، ارزش در معرض ریسک[5]؛ که سرمایه‌گذاران سهام براساس آن‌ها تصمیمات لازم را درباره معامله یا نگهداری سهام اتخاذ می‌کنند. در این مسیر برای مواجه با موقعیت عدم اطمینان پارامتری ناشی از کمبود دانش و بدون در نظر گرفتن توزیع داده‌ها و محدودیت‌های سخت رویکرد بهینه‌سازی استوار بکار گرفته می شود (وئو[6] و همکاران، ۲۰۲۳).

از این‌رو، مدل‌سازی عدم اطمینان برای ارتقاء درجه اعتماد پاسخ نهایی مدل بر مبنای بازه‌های غیرقطعی و کمبود داده‌های ورودی دقیق توسعه یافته که منجر به طراحی سیستم‌های واقع‌گرایانه در بازارهای مالی شده است. در این راستا، تئوری های فازی، رویکردهای تصادفی و برنامه‌ریزی استوار در بهینه‌سازی مدل‌های برنامه‌ریزی سرمایه‌گذاری بکار می‌روند (بوسوفیان[7] و همکاران، ۱۹۹۱؛ اهیر[8] و همکاران، ۲۰۲۲).

هدف اصلی مدل های فوق، انتخاب سبد مالی با درجه اطمینان بهینه است که انتظارات سرمایه‌گذار مالی را تا حد امکان و یا در یک بازه پایا تامین می کند. از طرف دیگر در انتخاب سبد مالی، ترکیب سهام و تشخیص فرصت‌های ارزیابی سهام و همسوئی آن با اهداف و ساختار یک سبد بهینه بسیار حائز اهمیت است. مسئله اصلی این است که طراحی فرآیند برای ارزیابی کارایی سهام و گزینش آن چگونه صورت گیرد که اعتبار مطلوبی را تامین کند و هم قابلیت تخصیص بودجه سرمایه‌گذار به خرید هریک از سهام و همچنین

1. Mukashov
2. Zhang
3. Semi-Varience
4. Absolute Deviations
5. Value at Risk
6. Wu
7. Boussofiane
8. Ahir

تصمیم نهایی برای اجرای مدل را داشته باشد تا بتوان به یک سبد مالی بهینه دست یافت. لذا توسعه مدل‌های جدید انتخاب سبد پورتفوی در برابر تصمیمات سرمایه‌گذاران در شرایط عدم‌قطعیت پارامتری که بتوانند بطور انعطاف پذیر عمل کرده و جامعیت بیشتری داشته باشد همواره چالشی است که مورد توجه محققان قرار گرفته است. مسئله اصلی این است که چه مدلی برای طراحی سبد پرتفوی از نظر نوع سهم و تعداد دارایی مالی در مواجه با عدم اطمینان پارامترهای کلیدی مدل انتخاب شود که پیچیدگی کمتری داشته باشد و همچنین از چه رویکردی استفاده شود که بتواند به سرمایه‌گذار کمک کند که با برنامه‌ریزی قابل اتکا و اعتماد کافی به نتایج، ریسک تصمیم گیری را کاهش دهد. یک روش قدرتمند در زمینهٔ سنجش و ارزیابی بهره‌وری در شرایط عدم‌قطعیت مدل‌های تحلیل پوششی داده‌ها[1] (DEA) به همراه برنامه‌ریزی استوار[2] است که می‌توان آن را به‌صورت مدلی با محدودیت‌های منعطف برای پارامترهای غیرقطعی فضای مسئله طراحی کرد (وی[3]، ۲۰۰۱). DEA یک روش ناپارامتریک در حوزه تحقیق در عملیات و اقتصاد است که کارایی عملکرد واحدهای تولیدی یا عملیاتی را برآورد می کند. در این راستا، با توجه به اهداف و محدودیت‌های کارآمد در بازارهای مالی و تطابق بیشتر با دنیای واقعی، مدل‌های برنامه‌ریزی ترکیبی توسعه می یابند.

هدف اصلی پژوهش حاضر در مدیریت پرتفوی، توسعه ابزار تصمیم گیری است تا سرمایه‌گذار در شرایط عدم‌قطعیت دارایی‌های بهینه را انتخاب کند. از این رو، الگویی نوین به منظور تجزیه و تحلیل کاراترین سهام ارائه گردیده و جهت مواجه با عدم‌قطعیت از مدل‌سازی ترکیبی استفاده شده است. در مرحله اول، کارایی سهم‌های قابل سرمایه‌گذاری ارزیابی و اندازه‌گیری می‌شوند. در ادامه سهم‌های منتخب از فیلتر سرمایه‌گذاری عبور می‌کنند و به‌عنوان ورودی‌های منتخب مشخص می شوند. در مرحله بعدی، میزان سرمایه‌گذاری تخصیص داده‌شده هر سهم منتخب واجد شرایط تعیین می شود و سپس، جهت مواجه با عدم اطمینان پارامترها از روش‌های بهینه‌سازی ترکیبی استوار استفاده می‌شود و سرانجام، رویکرد توسعه یافته پژوهش با داده‌های واقعی و روزآمد بر روی رمز ارزهای جهانی مورد بررسی قرار می‌گیرند. شایان ذکر است پژوهش حاضر در پی پاسخ به سوالات زیر است.

- پاسخ مدل‌های همتای استوار تحلیل پوششی داده‌ها در شرایط عدم‌قطعیت چگونه است؟
- تاثیر تغییرات پارامتر محافظه‌کاری مدل‌های استوار بر نتایج ارزیابی سهام و پرتفوی چیست؟
- عملکرد مدل‌های همتای استوار در انتخاب پورتفوی بهینه چگونه است؟
- قدرت کدامیک از سنجه های ریسک در مدل‌های ارائه شده بیشتر است و عملکرد بهتری ایجاد می‌کند؟
- آیا رویکرد پیشنهادی برای ساخت سبد سهام رمزارزی در محیط عدم‌قطعیت مؤثر است؟

پژوهش حاضر در پنج بخش تنظیم شده است؛ پس از بیان مقدمه، مبانی نظری و پیشینه پژوهش‌های داخلی و خارجی بررسی خواهد شد. روش‌شناسی پژوهش بخش بعدی محسوب می‌شود؛ که در آن به

1. Data Envelopment Analysis
2. Robust Programming
3. Wei

تفصیل به روش پیشنهادی مبتنی بر DEA خواهیم پرداخت. در ادامه، آزمون مدل و تجزیه‌وتحلیل یافته‌ها نگاشته شده و قسمت پایانی پژوهش نیز، به بحث و نتیجه‌گیری اختصاص دارد.

مروری بر پیشینه پژوهش:

در این بخش مهم‌ترین تحقیقات حوزه بهینه‌سازی استوار و مسئله انتخاب سبد سرمایه بررسی می‌شود. در دنیای واقعی، مدل های سرمایه‌گذاری با پارامترهای غیر قطعی بازار مالی رفتار متغیری دارند. از این‌رو، رویکرد بهینه‌سازی اســتوار برای مواجه با داده‌های غیرقطعی بکار گرفته می شود، که اولین بار توسط سویستر[1] توسعه پیدا کردند (سویستر، ۱۹۷۳). رویکرد سویستر، جواب‌های موجه و نزدیک به بهینه به ازای پارامترهای ورودی نادقیق تولید می‌کرد که از درجه محافظه‌کارانه بالایی برخوردار بود لذا فاصله زیادی از بهینگی مسئله با مقادیر اسمی ایجاد می‌کرد (محمدی و همکاران، ۱۴۰۰). رویکرد بهینه سازی استوار بن‌تال و نیمروفسکی[2] برای مسائل با مجموعه غیرقطعی بیضوی توسعه یافت که همتای استوار جدیدی برای مسئله برنامه‌ریزی خطی ارائه می داد که نسبت به مدل سویستر سطح محافظه‌کارانه کمتری داشت اما مدل نهایی غیرخطی بود و در حل مدل‌های بهینه سازی گسسته کاربردی نداشت (قدوسی و همکاران، ۱۳۹۴؛ کایدپور و همکاران، ۱۳۹۸). در این راستا، برتسـیماس و سـیم[3] رویکرد متفاوتی برای کنترل سطح محافظه‌کاری معرفی کردند که منجر به تولید یک مدل بهینه‌سازی خطی شد که امکان پیاده سازی بر روی مدل‌های گسسته را دارد. بر این اساس، مدل های استوار بهینه‌سازی سبد مالی توسعه یافتندکه مبنای آن قابلیت تنظیم سطح محافظه‌کارانه جواب استوار است (مدرس و حسن‌زاده مفرد، ۱۳۹۰). اما تحقیقات متعددی با هدف توسعه مدل‌های سرمایه‌گذاری در شرایط عدم اطمینان اجرا شدند که به دنبال تامین بهینه محدودیت‌های سرمایه‌گذاری و بهبود عملکرد گام برداشتند.

رجبی و خالوزاده (۱۳۹۳) از الگوریتم‌های تکاملی چند هدفه برای بهینه‌سازی سبد سرمایه‌گذاری در بورس اوراق بهادار تهران در شرایط عدم‌قطعیت فزاینده استفاده کردند. در این راستا، دو روش پرکاربرد و مهم الگوریتم ژنتیک چند هدفه با مرتب سازی نامغلوب و بهینه‌سازی چند هدفه ازدحام ذرات را مورد مقایسه قرار دادند.که نتایج حاکی از عملکرد بهتر روش NSGA-II نسبت به روش MOPSO بود. قدوسی و همکاران (۱۳۹۴) برای حل مسئله بهینه‌سازی سبد سهام در بورس اوراق بهادار تهران از الگوریتم‌های فرا ابتکاری با محدودیت های کاردینالی استفاده کردند. نتایج پژوهش فوق موفقیت الگوریتم تبرید شبیه سازی شده را در بهینه سازی سبد با توجه به اعمال محدودیتهای مورد نظر مسئله نشان می داد. نتایج حاصل حاکی از آن است که چنانچه سرمایه‌گذاران به کسب بازده ای با حداقل ریسک تمایل داشته باشند باید محدودیت سرمایه‌گذاری را در بخش هایی تعدیل نمایند.

1. Soyster
2. Ben-Tal & Nemirovski
3. Bertsimas & Sim

محمدزاده و حیدری (۱۴۰۱) شاخصی برای اندازه‌گیری عدم اطمینان مالی با استفاده از مدل پنج عاملی فاما وفرنچ[1] در فضای حالت با الگوریتم فیلتر کالمن[2] و حداقل مربعات معمولی را با استفاده از بازده ۱۸ پورتفوی از ۸۲ شرکت پذیرفته شده در بورس اوراق بهادار پیاده سازی کردند. مقایسه این دو مدل نشان از برتری تخمین به روش فضای حالت با الگوریتم کالمن دارد. نوراحمدی و صادقی (۱۴۰۱) مطالعه موردی انتخاب پرتفوی سهام متشکل از ۳۰ شرکت برتر بورس اوراق بهادار تهران را بر مبنای یادگیری ماشین مبتنی بر تکنیک کاهش بعد با رویکرد سلسله مراتبی برابری ریسک را ارائه کردند. نتایج حاصل نشان داد که از طریق این تکنیک می‌توان مهمترین صنایع و ریسک های اصلی کسب و کار را شناسایی کرد و در جهت متنوع‌سازی سبد سهام بکار برد. پیکانی و همکاران (۲۰۲۰) در پژوهشی به ارزیابی عملکرد بنگاه‌های سرمایه‌گذاری تحت عدم‌قطعیت پرداختند، مسیر پژوهشی آن‌ها بر مبنای ارزیابی عملکرد شرکت‌ها با هدف شناسایی بنگاه‌های سرمایه‌گذاری کارآمد و همچنین ارائه راه‌کار اصلاحی برای بنگاه‌های نا کارآمد است. رضائی و کیانی (۱۴۰۰) تأثیر معیارهای عدم اطمینان اقتصادی بر رابطه بین قابلیت مقایسه صورت‌های مالی و خطر سقوط قیمت سهام در شرکت‌های پذیرفته‌شده در بورس اوراق بهادار تهران را بررسی کردند. دوشی و همکاران[3] (۲۰۱۸) به بررسی اثر عدم‌قطعیت قیمت بر سرمایه‌گذاری در سطح شرکت، مدیریت ریسک و صدور بدهی پرداختند. چولیا و همکاران[4] (۲۰۱۷) نیز عدم‌قطعیت بازار سهام را ارزیابی کرده و یک شاخص متغیر روزانه از عدم‌قطعیت بازار سهام را پیشنهاد دادند. لوان و همکاران[5] (۲۰۲۱) مدل دو مرحله‌ای بهینه‌سازی استوار برای مسائل سبد سرمایه‌گذاری در شرایط عدم‌قطعیت را ارائه کردند که سبد سرمایه‌گذاری قادر بود یک برنامه مدیریت مالی استوار را برای سرمایه‌گذاران فراهم نماید.

کریمی و همکاران (۱۴۰۰) در پژوهشی روش پیشنهادی DEA-GZBWM همراه با عدم‌قطعیت فازی را ارائه کردند که در آن روشی برای انتخاب گزینه مطلوب در شرایط عدم‌قطعیت و افزایش اثربخشی تصمیم‌گیری گروهی ارائه شد. در این پژوهش از رویکردهای ZlCWAA جهت میانگین گیری از اعداد Z و از تحلیل پوششی داده‌ها برای تخصیص وزن استفاده کردند. عیوض‌لو و همکاران (۱۴۰۰) در پژوهشی با بکارگیری مدل ارزش در معرض ریسک شرطی ترکیبی دو دنباله‌ای، پرتفوی بهینه ردیاب شاخص را در بورس اوراق بهادار تهران تشکیل دادند. آنها نشان دادند که یکی از استراتژی‌های سرمایه‌گذاری، مدیریت غیرفعال است که یک شاخص یا پرتفوی با وزن بازار را دنبال می‌کند. هدف از این نوع مدیریت، حداقل‌سازی کارمزدهای سرمایه‌گذاری و جلوگیری از عواقب نامطلوب پیش‌بینی نادرست آینده است. مدیریت فعال پرتفوی، به‌دنبال جلوزدن از بازده شاخص است؛ درحالی‌که مدیریت غیرفعال، به‌دنبال دستیابی به بازده و ریسک متناسب با شاخص است.

1. Fama & French
2. Kalman Filter
3. Doshi et al.
4. Chuliá et al.
5. Luan

محمدی و همکاران (۱۴۰۰) در پژوهشی با بکارگیری مدل برنامه‌ریزی صفر و یک به منظور خوشه‌بندی سری‌های زمانی پرتفوی ردیابی شاخص را شکل دادند. و ضرایب همبستگی مبتنی بر کاپولا و همچنین رویکرد بهینه‌سازی استوار جهت مواجه با عدم‌قطعیت پارامتری را بکار بردند. در این پژوهش مدل دومرحله‌ای ارائه کردند که در مرحله نخست، عملکرد شاخص را با تعداد کمتری از سهم‌های تشکیل‌دهنده شاخص بازسازی می نمود و در مرحله دوم، اوزان پرتفوی شاخص ارتقایافته را در بورس اوراق بهادار تهران محاسبه می کرد. کوچکی تاجانی و همکاران (۱۴۰۰) مدلی برای بهینه‌سازی پرتفوی تسهیلات بانکی ارائه کردند که برای مقابله با عدم‌قطعیت، رویکرد سناریومحور استوار را پیاده‌سازی کردند. که اهداف آن افزایش بازده بانک، کاهش ریسک اعتباری و کاهش ریسک ورشکستگی بود. نتایج نشان داد که ریسک سیستماتیک، نرخ تورم و نرخ ارز دارای بیشترین تاثیر بر کاهش کیفیت تسهیلات است.

اسکوباری و جعفری‌نژاد[1](۲۰۱۹) عدم‌قطعیت سرمایه‌گذاری و ریسک بازار سهام را بررسی کردند و مدل‌سازی عدم اطمینان سرمایه‌گذاری را با استفاده از نوسانات مشروط احساسات سرمایه‌گذاران توسعه دادند. در این پژوهش بر اساس داده‌های هفتگی مربوط به احساسات سرمایه‌گذاران، شاخص های عمده سرمایه‌گذاری سهم‌های ایالات متحده را بررسی کرده و طی آزمایش‌های مختلف معیارهای جایگزین عدم‌قطعیت را تایید کردند. نتایج نشان از وجود یک همبستگی شرطی مثبت بین احساسات و بازده بود. که به‌عنوان یک پیوند مثبت بین عدم اطمینان سرمایه‌گذاران و ریسک بازار تفسیر می‌شود. لی و تئو[2](۲۰۲۱) در مطالعه‌ای رویکرد بهینه‌سازی سبد در بازار اوراق بهادار را با حضور همزمان عدم‌قطعیت و رویدادهای تصادفی دنبال کردند. در ابتدا، چولگی‌ها[3] برای سه نوع متغیر تصادفی نامشخص مشتق شده است. سپس، در یک محیط تصادفی غیرقطعی، با در نظرگرفتن اولویت‌های ریسک، یک مدل میانگین-واریانس-چولگی را برای مسئله بهینه‌سازی پورتفولیو پیشنهاد دادند.

سینا و فلاح (۱۳۹۹) عملکرد مدل‌های ارزش در معرض ریسک و کاپیولا[4]-CVaR را با هدف بهینه‌سازی پرتفوی در بورس اوراق بهادار تهران مقایسه کردند. به دلیل نرمال نبودن توزیع بازده دارایی‌ها و غیرخطی‌بودن همبستگی بین بازده دارایی، روش ترکیبی کاپیولا-CVaR در اندازه‌گیری ریسک پرتفوی دارایی‌ها از عملکرد بهتری برخوردار بود. بر این اساس، مدلی کارا برای بهینه‌سازی سبد سرمایه‌گذاری ارائه کردند که در شرایط عدم‌قطعیت سرمایه‌گذاری، بازدهی بیشتری ایجاد می‌کند. ابونوری و همکاران (۱۳۹۷) به بررسی عملکرد انتخاب پورتفولیوهای مبتنی بر ریسک تحت شرایط متغیر بازار سهام پرداختند در این مطالعه از روش اختیارات واقعی برای تبیین مسئله بهینه‌سازی تصادفی و از روش داده‌های پنلی جهت برآورد مدل تجربی استفاده کردند. مطالعه موردی آنها بر روی شرکت های اوراق بهادر بود و برای حل کمی مسئله، رویکرد شبیه سازی مونت‌کارلو را بکار بردند. سینا و فلاح (۱۳۹۸) در پژوهشی به بهینه‌سازی سبد

1. Escobari & Jafarinejad
2 Li & Teo
3. Skewnesses
4. Copul

سرمایه‌گذاری با رویکرد نظریه ارزش فرین در بورس اوراق بهادار تهران پرداختند. در این راستا، هر فرایند سرمایه‌گذاری درصدد انتخاب ترکیب بهینه‌ای از سرمایه‌گذاری است که با توجه به میزان ریسک و بازده آن، تابع مطلوبیت و در نهایت، بازده حداکثر گردد به طوری‌که شرایط عدم‌قطعیت و ریسک سرمایه‌گذاری مورد توجه قرار گیرد. همچنین، از نظریه ارزش فرین برای سنجش ریسک سرمایه‌گذاری استفاده نمودند.

آهن[1] و همکاران (۲۰۱۹) به بررسی اثرات عدم‌قطعیت بازار سهام چین پرداختند. برای برآورد دقیق عدم‌قطعیت در بازار از معیار آنتروپی و تحلیل سری زمانی استفاده کردند. یافته‌ها نشان داد که عدم اطمینان بازار سهام بر شاخص‌های مبانی اقتصادی مانند ریسک سیستمی اثرات قابل‌توجهی دارد. و یک شوک عدم‌قطعیت، کاهش کوتاه‌مدت تولید صنعتی را به همراه دارد. همچنین آنها تبیین کردند که نوسان سطح شاخص میزان تولید سبب افزایش ریسک سیستماتیک می‌شود. بورکالتسوا[2] و همکاران (۲۰۲۱) مبانی روش‌شناختی ریسک بازار سهام کشورهای توسعه‌یافته و درحال‌توسعه در شرایط بحران را بررسی کردند و توسعه روش‌های رشد بازار سهام از طریق تغییرات زیرساختی سیستم توسعه اقتصادی و توسعه فناوری‌های دیجیتال را مورد بررسی قرار دادند. اکنون، برای نشان دادن شکاف موجود در ادبیات و نوآوری‌های رویکرد توسعه‌یافته، طبقه‌بندی دقیق‌تری از ادبیات در جدول ۱ ارائه شده است.

جدول۱. پیشینه پژوهش

عنوان	مرجع	مدل	رویکرد بهینه‌سازی	عدم‌قطعیت
ایجاد شاخصی برای اندازه‌گیری عدم اطمینان مالی با استفاده از مدل پنج عاملی فاما وفرنچ در فضای حالت با الگوریتم فیلتر کالمن	حیدری و محمدزاده، ۲۰۲۲	مدل پنج عاملی فاما وفرنچ	روش فضای حالت با الگوریتم فیلتر کالمن و روش حداقل مربعات معمولی	میانگین ماهیانه عدم‌قطعیت
یادگیری ماشین مبتنی بر رویکرد سلسله مراتبی برابری ریسک (HRP) (مطالعه موردی پرتفلیو سهام متشکل از ۳۰ شرکت برتر بورس اوراق بهادار تهران)	نوراحمدی و صادقی، ۲۰۲۲	مدل مبتنی بر یادگیری ماشین	بهبود عملکرد پرتفلیو از نسبت شارپ برای هر دو دوره درون‌نمونه و برون‌نمونه	عدم‌قطعیت بر مبنای رویکرد برابری ریسک سلسله مراتبی
ارائه روش پیشنهادی DEA-GZBWM همراه با عدم‌قطعیت فازی	کریمی و همکاران، ۲۰۲۲	DEA	GZBWM	عدم‌قطعیت فازی
ردیابی شاخص با استفاده از معیار ارزش در معرض ریسک شرطی ترکیبی دو دنباله‌ای در بورس اوراق بهادار تهران	عیوضلو، فلاح پور و دهقانی اشکذری، ۲۰۲۲	تشکیل پرتفوی‌های ردیابی شاخص	مدل برنامه‌ریزی ریاضی خطی	-
کاربرد ضرایب هم‌بستگی مبتنی بر کاپولا و اطلاعات متقابل در خوشه‌بندی سری‌های زمانی و تشکیل پرتفوی شاخصی ارتقایافته با استفاده از رویکرد بهینه‌سازی استوار	محمدی و همکاران، ۲۰۲۲	خوشه‌بندی سری‌های زمانی و تشکیل پرتفوی مبتنی بر شاخص	رویکرد بهینه‌سازی استوار	عدم‌قطعیت پارامترها با استفاده از ضرایب هم‌بستگی مبتنی بر کاپولا

1. Ahn
2. Burkaltseva

عنوان	مرجع	مدل	رویکرد بهینه‌سازی	عدم‌قطعیت
پیاده‌سازی رویکرد استوار نسبی برای انتخاب پرتفوی بهینه در بورس اوراق بهادار تهران با استفاده از برنامه‌ریزی مخروطی مرتبه دوم	راعی، نمکی و احمدی، ۲۰۲۲	رویکرد استوار نسبی	برنامه‌ریزی مخروطی مرتبه دوم	-
ارائه مدل بهینه‌سازی سناریو محور جهت پرتفوی تسهیلات بانکی در شرایط عدم‌قطعیت با رویکرد استوار مالوی	کوچکی تاجانی و همکاران، ۲۰۲۱	مدل استوار سناریو محور بر اساس رویکرد مالوی	افزایش بازده از طریق افزایش تسهیلات جاری، کاهش ریسک اعتباری و کاهش ریسک ورشکستگی براساس نسبت‌های مالی آلتمن	عدم‌قطعیت با استفاده از عوامل اقتصادی مانند ریسک سیستماتیک، نرخ ارز، تورم
مقایسه عملکرد مدل‌های ارزش در معرض ریسک و کاپیولا-CVaR جهت بهینه‌سازی پرتفوی در بورس اوراق بهادار تهران	سینا و فلاح، ۲۰۲۰	تخمین ارزش در معرض ریسک پرتفوی	رویکرد واریانس-کوواریانس	-
بهینه‌سازی سبد سرمایه‌گذاری با رویکرد نظریه ارزش فرین در بورس اوراق بهادار تهران	سینا، شمس و میرفیض، ۲۰۱۹	مدل برنامه‌ریزی کوآدرتیک	رویکرد ارزش فرین	-
عملکرد پورتفولیوهای مبتنی بر ریسک تحت شرایط مختلف در بازارسهام (شواهد تجربی از بازار سهام ایران)	ابونوری، تهرانی و شامانی، ۲۰۱۹		بررسی ریسک نامطلوب استراتژی‌ها با استفاده از معیارهای سنجش ریسک نامطلوب مانند VaR و CVaR	ریسک تحت شرایط مختلف بازار
مدل دو مرحله‌ای بهینه‌سازی استوار برای مسائل سبد سرمایه‌گذاری در عدم‌قطعیت	لوان، ونگ، وو و ژیا[1]، ۲۰۲۱	مدل استوار دو مرحله‌ای (TS-RO)	برنامه‌نویسی عدد صحیح مختلط دو مرحله‌ای	آنتروپی اطلاعات و ارزش شرطی در معرض خطر
بهینه‌سازی سبد در بازارهای مالی واقعی با عدم‌قطعیت و تصادفی‌بودن	لی و تئو، ۲۰۲۱	مدل میانگین-واریانس-چولگی	در نظرگرفتن اولویت‌های ریسک مختلف، برای مسئله بهینه‌سازی	چولگی برای سه نوع متغیر تصادفی
انتخاب سبد و بهینه‌سازی سبد سرمایه گذاری رمزارزی در شرایط عدم‌اطمینان با رویکرد برنامه‌ریزی محدودیت اعتبار-استوار	پژوهش حاضر	چندین مدل DEA	بهینه‌سازی نیم‌واریانس و انحراف معیار مطلق به همراه کارمزد	عدم‌قطعیت جعبه‌ای و چند وجهی

با توجه به تحقیقات انجام شده عدم‌قطعیت داده‌ها ناشی از خطاهای پیش‌بینی، اندازه‌گیری و یا خطای پیاده سازی است که برای مواجه با آن رویکردهای تصادفی و استوار به‌کار می‌رود. رویکرد استوار بر خلاف مدلهای تصادفی قابلیت انعطاف‌پذیری و کارایی بالایی دارد که بر این اساس در تحقیقات اخیر توسعه یافته است.

از مهمترین نوآوری‌های پژوهش حاضر نسبت به تحقیقات مشابه اخیر می‌توان به موارد زیر اشاره کرد:

- پیاده‌سازی رویکرد بهینه‌سازی پرتفوی مبتنی بر کارایی در یک مطالعه موردی جدید (بازار رمزارزها) که جنبه‌ها و معیارهای مالی مختلف را ارزیابی می‌کند و این بازار از یک عدم‌قطعیت فزاینده برخوردار است.

1. Luan, Wang, Wu & Xia.

- پیاده‌سازی مسیر پژوهشی این تحقیق بر روی شش مدل اصلی تحلیل پوششی داده‌های استوار (RDEA) و مقایسه آنها با یکدیگر.
- اعمال کارمزد در تابع هدف که پیش از این مغفول مانده بود.
- ایمن‌سازی جواب‌های بهینه در نامطلوب ترین شرایط مسئله.

مدل‌های سبد سهام و معیارهای ریسک کلاسیک

اولین روش در انتخاب سبد سهام توسط مارکوویتز پیشنهاد شد (مارکویتز[1]، ۱۹۵۲). مدل میانگین واریانس[2] (MV) برای حل مسئله انتخاب سبد سهام ارائه شد. واریانس به‌عنوان معیار ریسک برای انتخاب سبد سهام، هر دو بازده مورد انتظار مطلوب و نامطلوب را جریمه می‌کند. در ادامه، مارکوویتز نیمه‌واریانس را به‌عنوان معیار ریسک نزولی پیشنهاد کرد که ریسک نیمه‌واریانس را اندازه‌گیری می‌کند (مشایخی و عمرانی، ۲۰۱۶). برای حل مدل میانگین واریانس، تصمیم‌گیرندگان به ماتریس کوواریانس نیاز دارند؛ که تخمین این ماتریس با داده‌های واقعی دشوار است اما با استفاده از مدل نیمه‌واریانس میانگین[3] (MSV)، نیازی به محاسبه ماتریس کوواریانس نیست و توزیع مشترک سهم‌ها محاسبه می شود (جاسزوک[4] و همکاران، ۲۰۲۲).

از آنجایی که مدل اصلی مارکوویتز یک مدل برنامه‌ریزی درجه دوم[5] (QP) است و حل آن برای مجموعه داده‌های بزرگ دشوار است انحراف مطلق به‌جای واریانس به‌عنوان معیار ریسک برای انتخاب پورتفولیو توسط کونو و یامازاکی[6] پیشنهاد شد (کونو و یامازاکی، ۱۹۹۱). مدل میانگین انحراف مطلق یک مدل برنامه‌ریزی خطی است که زمان محاسباتی را کاهش داده و معیار ریسک انحراف از بازده مورد انتظار را کمّی می‌کند و نیازی به محاسبه ماتریس کوواریانس نیست.

کمی سازی ریسک با دو رویکرد اصلی صورت می گیرد. اولین مولفه، تمایل سرمایه‌گذار به نزدیک کردن بازده پورتفوی به بازده مورد انتظار است و در نهایت سرمایه‌گذار برای جلوگیری از افزایش ریسک، تمایلی به انتخاب سهم هایی که دارای ارتباط قوی با یکدیگر هستند ندارد. از این‌رو در پژوهش حاضر، نحوه تشکیل پورتفوی براساس دو مدل سنجه ریسک با معیارهای متفاوت ریسک معمول (مدل انحراف مطلق) و دیگری از خانواده ریسک نامطلوب (مدل نیمه‌واریانس میانگین[7] (MSV)) است.

1. Markowitz
2 .Mean-Variance
3. Mean-Semi Variance
4. Juszczuk
5. Quadratic Programming
6 .Konno & Yamazaki
7. Mean-Semi Variance

تحلیل پوششی داده‌ها (DEA)

تحلیل پوششی داده‌ها یک تکنیک ناپارامتریک برای ارزیابی عملکرد و رتبه‌بندی واحدهای تصمیم‌گیری همگن است. اولین مدل DEA براساس فرض بازده ثابت به مقیاس[1] (CRS) بود و مدل CCR[2] نامیده شد (چارنز و همکاران، ۱۹۸۵). بانکر[3] و همکاران (۱۹۸۴) مدل CCR را براساس فرض بازده متغیر به مقیاس[4] (VRS) توسعه دادند و مدل BCC [5] نامیدند. مدل‌های CCR و BCC ساختارهای طرح‌ریزی شعاعی[6] هستند؛ چارنز[7] و همکاران (۱۹۸۵) مدل DEA را با در نظر گرفتن همزمان کمینه‌سازی ورودی و حداکثرسازی خروجی پیشنهاد دادند که مدل افزودنی[8](ADD) نامیده می‌شود. شایان ذکر است که مدل های CCR، BCC و ADD به‌ترتیب مدل‌های شعاعی و غیر شعاعی هستند (داوطلب و مهرجو، ۱۳۹۸). پیکانی و همکاران (۲۰۲۰) نیز ساختار مضربی از مدل‌های CCR-IO، CCR-OO، BCC-IO، BCC-OO، ADD-CRS و ADD-VRS ارائه کردند.

در حالت کلی مدل‌های اندازه‌گیری کارایی به دو گروه مدلهای شعاعی و غیرشعاعی تقسیم می‌شوند. در مدل‌های شعاعی نهاده‌ها و ستانده‌ها متناسب با هم تغییر می‌کنند و تغییرات در ورودی و خروجی را مبنای کار خود قرار می‌دهند. همچنین، واحدهای تصمیم‌گیرنده ناکارا را برای رتبه‌بندی کارایی گزارش نمی‌کنند. اما در مدل‌های غیرشعاعی نهاده‌ها و ستانده‌ها متناسب با هم تغییر نمی‌یابند و کارایی مبتنی بر متغیرهای کمکی مدل‌سازی می‌شود و ارزش ارزیابی کارایی واحدهای تصمیم‌گیرنده ناکارا را نیز ارائه می‌دهد (ممی‌پور و نجف‌زاده، ۱۳۹۷). چالش بکارگیری DEA این است که داده‌های ورودی و خروجی به طور معمول از طریق نمونه گیری جمع آوری می شوند و مرز کارایی نمی تواند مرز واقعی را نشان دهد در این حالت برای غلبه بر خطای نمونه گیری توسعه مدل DEA (بوت استرپ) پیشنهاد می‌شود اما با توجه به آشفتگی داده‌ها، در ورودی‌ها و خروجی‌ها که می‌تواند تغییر بزرگی در کارایی ایجاد کند و نتایج رتبه بندی را نزدیک به یکدیگر و غیرمنطقی نشان دهد توسعه مدل‌های RDEA که توانایی غلبه بر آشفتگی داده‌ها، تولید مقادیر کارای استوار و رتبه بندی قابل اعتمادتری دارند بکار گرفته می‌شوند. در تحقیق حاضر مدل CCR استوار ورودی‌گرا (CCR-IO)، مدل CCR استوار خروجی‌گرا (CCR-OO)، BCC استوار

1. Constant Returns to Scale
2 .Charnes, Cooper & Rhodes
3. Banker
4. Variable Returns to Scale
5. Banker, Charnes & Cooper
6. Radial Projection Constructs
7 .Charnes
8. Additive

ورودی‌گرا (BCC-IO)، مدل BCC استوار خروجی‌گرا (BCC-OO)، مدل ADD استوار با بازده ثابت به مقیاس (ADD-CRS) و مدل ADD استوار با بازده متغیر به مقیاس (ADD-VRS) توسعه یافته است. لازم به ذکر است استفاده از مدل‌های RDEA حجم محاسبات را کمتر کرده و با صرف زمان کمتر تمایز بهتری بین مقادیر کارایی واحدهای تصمیم گیری[1] (DMU) ایجاد می‌کند.

بهینه‌سازی استوار

برنامه‌ریزی استوار یک رویکرد ریسک گریز برای برخورد با مسائل بهینه سازی در شرایط عدم قطعیت است و به دنبال دستیابی به دو هدف مهم است: استواری مدل و استواری جواب. استواری مدل به این معنی است که راه‌حل برای تقریبا تمام مقادیر ممکن پارامترهای غیر قطعی، موجه باقی بماند و استواری بهینگی یا جواب به این معنی است که مقدار تابع هدف برای جواب مسئله دارای حداقل انحرافات نامطلوب از مقدار بهینه به ازای مقادیر غیر قطعی پارامترها باشد (حمیدیه و ارشدی‌خمسه، ۲۰۲۱).

شایان ذکر است که رویکرد بهینه‌سازی استوار سویستر بیش‌ازحد محافظه‌کارانه است. رویکرد پیشنهادی بن‌تال و نیمروفسکی دارای همتای استوار با ساختار برنامه‌ریزی غیرخطی است که جستجوی قطعی پاسخ بهینه را در مسائل واقعی با مشکل مواجه می کند. هرچند مدل فوق می‌تواند محافظه کاری را تنظیم کند. اما رویکرد استوار برتسیماس و سیم می‌تواند به‌طور انعطاف‌پذیری سطح محافظه‌کاری راه‌حل‌های استوار را با پارامتر Γ تنظیم کند و دارای همتای استوار با ساختار برنامه‌ریزی خطی است (حمیدیه و بابایی، ۲۰۲۲). مسئله اصلی، تولید راه حل های بیش از حد محافظه کارانه با توجه به وقوع پارامترهای تصادفی است. در این صورت به منظور کنترل بهینه هزینه اضافی ناشی از تغییرات پارامتری، مولفه‌های دیگری نیز به مدل اضافه می شود. جنتایل و همکاران[2] (۲۰۲۱) بررسی کردند که چگونه می توان از پیش‌بینی تقاضا به‌منظور دستیابی به یک برنامه‌ریزی بهینه در شرایط عدم‌قطعیت استفاده نمود. در این روش از رویکرد پیش‌بینی در روزآمدسازی پارامترهای غیر قطعی مدل استوار استفاده می‌شود. به این ترتیب سطح پویایی پارامترهای مدل استوار ارتقا می‌یابد. از همتای خطی استوار رویکرد مورد اشاره، جهت مقابله با عدم‌قطعیت در پژوهش حاضر استفاده خواهد شد.

روش شناسی پژوهش

در پژوهش حاضر برای مسئله بهینه‌سازی سبد سهام رویکرد ترکیبی تحلیل پوششی داده‌ها – برنامه‌ریزی استوار در شرایط عدم‌قطعیت توسعه یافته است. در مرحله اول، کارایی سهم‌های قابل سرمایه‌گذاری با استفاده از رویکرد DEA اندازه گیری و مورد ارزیابی قرار می گیرند. این مرحله فیلتر

1. decision making units
2. Gentile

کردن سهم ها برای شروع سرمایه‌گذاری در فاز دوم است. سپس در مرحله دوم میزان سرمایه‌گذاری در سهم‌های واجد شرایط تعیین‌شده و در نهایت پرتفوی منتخب ایجاد می‌شود. همچنین مدل‌های میانگین نیمه واریانس- نرخ رشد[1] (MSVG) و میانگین انحراف مطلق – نرخ رشد[2] (MADG) بکار گرفته می‌شود. به طوری که در هر فاز برای مواجه با عدم‌قطعیت پارامتری برنامه‌ریزی استوار بکار می رود. و در نهایت، مسیر پژوهشی با مطالعه موردی رمزارزها پیاده‌سازی می شود. این رویکرد شامل دو فاز است. در شکل (۱) روند اجرایی پژوهش حاضر در ایجاد سبد سهام استوار ارائه شده است.

شکل۱. روند بهینه سازی سبد سهام تحقیق حاضر

پیاده سازی فاز اول

در این فاز طی چندمرحله، عملکرد کلیه سهم‌هایی که سرمایه‌گذاران می‌توانند در آن‌ها سرمایه‌گذاری کنند، ارزیابی و اندازه‌گیری می‌شود. در پایان این مرحله، سهم‌هایی که از فیلتر سرمایه‌گذار عبور کرده‌اند، صلاحیت منتخب بودن سرمایه‌گذاری در فاز دوم را دارند. معیارهای مالی کلیدی برای ارزیابی سهام در بازار شامل بازده، ریسک، سودآوری، نقدینگی، اهرم مالی، ارزش‌گذاری و رشد هستند. مقادیر موجود در صورت‌های مالی شرکت شامل ترازنامه، صورت‌های درآمد و جریان نقدی برای تجزیه و تحلیل کمی در ارزیابی نقدینگی، اهرم رشد، حاشیه سودآوری، نرخ بازده، ارزش‌گذاری بکار می‌روند (پیکانی و همکاران، ۲۰۲۰). ولی برخی از این معیارها در بازار رمزارز قابل محاسبه و کاربردی نیستند بنابراین با جستجو در منابع رمزارزی و استفاده از نظر کارشناسان ورودی و خروجی‌های مدل DEA تعیین شدند که در جدول (۲) ارائه شده است.

1. Mean Semi Variance Growth Rate
2. Mean Absolute Deviation Growth Rate

جدول ۲. ورودی‌ها و خروجی‌های مدل‌های DEA برای رمزارزها

	معیار مالی	سیمبول	توصیف
ورودی‌ها	نسبت ارزش شبکه به تراکنش‌ها[1] (NVT)	I (1)	رابطه بین ارزش بازار و حجم انتقال
	نسبت سهام به جریان[2] (S2F)	I (2)	نسبت بین موجودی فعلی دارایی و جریان تولید جدید
	شاخص قدرت نسبی[3] (RSI)	I (3)	مقیاس نوسانات اخیر قیمت
	انحراف معیار (σ)	I (4)	ریسک غیر سیستماتیک
خروجی‌ها	سود هر سهم[4] (EPS)	O(1)	درآمد خالص منهای سود تقسیمی بر سهام عادی
	نرخ بازده	O(2)	نسبت سود یا زیان یک سرمایه‌گذاری در یک دوره معین
	حجم در تعادل[5] (OBV)	O(3)	تکانهٔ ارز دیجیتال
	نرخ رشد سود هر سهم	O(4)	EPS سه دوره فعلی تقسیم بر EPS سه دوره قبلی منهای یک
	شاخص جهت دار متوسط[6] (ADX)	O(5)	قدرت یک روند

در ادامه به‌منظور در نظر گرفتن عدم‌قطعیت پارامترها در مدل‌های DEA رویکرد استوار برتسیماس و سیم بکار گرفته شده است که در مدل (۴) ارائه شده است.

$$\begin{cases} max\ c\ x \\ s.t \\ \sum_{b} \alpha_{ab}\varphi_b + Z_a\Gamma_a + \Omega_a \sum_{b\in\Lambda_a} P_{ab} \le \beta_a, \forall a \\ z_a + P_{ab} \ge \hat{\alpha}_{ab}\varphi_b, \forall a, b \in \Lambda_b \\ -\phi_b \le \varphi_b \le \phi_b, \forall a, b \in \Lambda_b \\ Z, P, \phi \ge 0 \end{cases} \quad (4)$$

در مدل فوق برای مقابله با عدم‌قطعیت پارامتری، یک محدودیت خاص aاز یک مدل اسمی در نظر گرفته می‌شود و Λ_a مجموعه‌ای از ضرایب در محدودیت a را نشان می‌دهد که در معرض عدم‌قطعیت هستند. لازم به ذکر است که هر ورودی α_{ab} به‌عنوان یک متغیر تصادفی متقارن و محدود تعریف شده است که مقادیر در بازه $\left[\alpha_{ab} - \hat{\alpha}_{ab}, \alpha_{ab} + \hat{\alpha}_{ab}\right]$ را در بر می‌گیرد. مرکز این بازه در نقطه α_{ab} یک مقدار اسمی است و $\hat{\alpha}_{ab}$ اختلال پارامترهای نامشخص $\alpha_{ab}, b \in \Lambda a$است. در نهایت، همتای استوار محدودیت a $\left(\hat{\alpha}_{ab}\varphi_b \le \beta_a, \forall a\right)$است. در ادامه، بر اساس مدل همتای استوار ، شش مدل تحلیل پوششی داده‌های استوار (RDEA) شامل RCCR-IO، RCCR-OO، RBCC-IO، RBCC-OO، RADD-CRS و RADD-VRS توسعه یافته است (پیکانی و همکاران، ۲۰۲۰).

1. Network Value to Transactions
2. Stock to Flow
3. Relative Strength Index
4. Earnings Per Share
5. On-Balance Valume
6. Average Directional Index

سرانجام مدل RDEA به ازای سطوح محافظه‌کاری r و آشفتگی Δ برای اندازه‌گیری عملکرد همه سهم‌ها اجرا می‌شود. همچنین با اعمال مدل RDEA تمامی سهم‌ها رتبه‌بندی خواهند شد(اربمالدار[1] و همکاران ،۲۰۱۷).

در مرحله ششم فاز یک، با توجه به محدودیت کاردینالیتی، برای انتخاب سبدسهام در فاز دوم، k سهام برتر که واجد شرایط عبور از فاز اول به فاز دوم هستند، انتخاب می‌شوند. دیدگاه محافظه‌کارانه برای انتخاب بهترین سهام در مرحله اول بدینگونه است که k سهام برتر بر اساس میانگین رتبه هر سهم که در تمام مدل‌های RDEA شامل RCCR-IO، RCCR-OO، RBCC-IO، RBCC-OO، RADD-CRS و RADD-VRS انتخاب شده اند بدست می آید.

فاز دوم: بهینه‌سازی سبد سهام

در این فاز طی چند مرحله، میزان سرمایه‌گذاری در هر سهم واجد شرایط تعیین و در نهایت سبد ایجاد می‌شود. به‌عبارت‌دیگر، در این مرحله واحد تصمیم‌گیری برای وزن سهم‌های واجد شرایط از مرحله اول در سبد تصمیم می‌گیرد.

در مرحله اول فاز دوم، دو مدل بهینه‌سازی سبدسهام با در نظر گرفتن ریسک، بازده و نرخ رشد توسعه می یابد. در مدل اول نیمه واریانس و در مدل دوم انحراف مطلق به ترتیب معیارهای ریسک هستند (RMSVG[2] و RMADG[3]). برای درنظر گرفتن بازده و نرخ رشد، دو محدودیت به هر مدل اضافه می‌شود که دستیابی به حداقل بازده مورد انتظار و حداقل نرخ رشد مورد انتظار سرمایه‌گذار را تضمین می‌کند. همچنین برای تولید مدل پوششی محدودیت بازار مالی، محدودیت کاردینالیتی و محدودیت خرید در نظر گرفته می‌شود. در مرحله سوم فاز دو، مدل‌های بهینه‌سازی پرتفولیوی استوار توسعه یافته است. در این مرحله مدل همتای بهینه‌سازی سبد سهام استوار[4] (RPO) همراه با اندیس‌ها، پارامترها و متغیرها تعریف گردیده و مدل‌های مسئله ارائه شده است.

اندیس‌ها

j: مجموعه‌ای از سهم‌ها $j=1,\cdots,n$

i: مجموعه‌ای از ورودی‌ها $i=1,\cdots,m$

r: مجموعه‌ای از خروجی‌ها $r=1,\cdots,s$

t: مجموعه‌ای از دوره‌ها $t=1,\cdots,T$

پارامترها

R_{ij} : بازده سهام j اُم در دوره i اُم

$\overline{R}_j$: میانگین بازده سهام j اُم

1. Arabmaldar
2. Robust Mean Semi-Variance Growth rate
3. Robust Mean Absolute Deviation Growth Rate
4. Robust Portfolio Optimization

R_E: معیار یا سطح هدف بازده موردانتظار سبد سهام

$\overline{L}_j$: میانگین نرخ رشد سهام j اُم

: L_E معیار یا سطح هدف نرخ رشد سبد موردانتظار

k: تعداد سهم‌های مجاز در سبد سهام

A_j: حداقل مبلغ کل وجه قابل سرمایه‌گذاری در سهام j اُم

B_j: حداکثر مبلغ کل وجه قابل سرمایه‌گذاری در سهام j اُم

Γ: سطح محافظه‌کاری (بودجه عدم‌قطعیت)

Δ: آشفتگی در پارامترهای نامشخص

cb : کارمزد خرید

cs : کارمزد فروش

متغیرهای تصمیم‌گیری:

ω_j: وزن سهام j اُم در سبد

τ_j: متغیر دودویی که در صورت نگهداری سهام j اُم یک و در غیر این صورت صفر خواهد بود.

ξ_t: نیمه واریانس سبد سهام در دوره t اُم

ζ_t: انحراف مطلق سبد سهام دوره t اُم

$$\Theta_{Robust}^{MSVL}$$

$$\min \ \frac{1}{T}\sum_{t=1}^{T}\xi_t^2 + \left(\sum_{j=1}^{n}\max\left(0,\left(\omega_{i(t-1)}-\omega_{i(t)}\right)cs\right)+\sum_{j=1}^{n}\max\left(0,\left(\omega_{i(t)}-\omega_{i(t-1)}\right)cb\right)\right) \quad (۲)$$

S.t.

$$-\sum_{j=1}^{n}\overline{R}_j\omega_j + Z^{\overline{R}}\Gamma^{\overline{R}} + \sum_{j=1}^{n}P_j^{\overline{R}} \le -R_E \quad (۳)$$

$$-\sum_{j=1}^{n}\overline{L}_j\omega_j + Z^{\overline{L}}\Gamma^{\overline{L}} + \sum_{j=1}^{n}P_j^{\overline{L}} \le -L_E \quad (۴)$$

$$R_E - \sum_{j=1}^{n}R_{tj}\omega_j + Z_j^{R}\Gamma_j^{R} + \sum_{j=1}^{n}P_{tj}^{R} \le \xi_t, \forall t, j \quad (۵)$$

$$\sum_{j=1}^{n}\omega_j = 1 \quad (۶)$$

$$\sum_{j=1}^{n}\tau_j = k \quad (۷)$$

$$Z^{\overline{R}} + P_j^{\overline{R}} \ge \Delta\overline{R}_j\omega_j, \forall j \quad (۸)$$

$$Z^{\overline{L}} + P_j^{\overline{L}} \ge \Delta\overline{L}_j\omega_j, \forall j \quad (۹)$$

$$Z_j^{R_1} + P_{tj}^{R_1} \ge \Delta R_{tj}\omega_j, \forall t, j \quad (۱۰)$$

$$Z_j^{R_2} + P_{tj}^{R_2} \ge \Delta R_{tj}\omega_j, \forall t, j \quad (۱۱)$$

$$Z^{\overline{R}}, Z^{\overline{L}}, Z_j^{R_1}, Z_j^{R_2}, P_j^{\overline{R}}, P_j^{\overline{L}}, P_{tj}^{R} \geq 0, \forall t, j \quad (۱۲)$$

$$A_j \tau_j \leq \omega_j \leq B_j \tau_j, \forall j \quad (۱۳)$$

$$\tau_j \in \{0,1\}, \forall j \quad (۱۴)$$

$$\xi_t, \omega_j \geq 0, \forall t, j \quad (۱۵)$$

در مدل همتای استوار فوق رابطه (۲) نشان‌دهنده تابع هدف مدل است که براساس سنجه ریسک نوسان پذیر بنا گردیده است. سبد سهام دارای n سهم است که در آن T به عنوان متغیر کنترل کننده تعداد سهم در سبد بهینه تعریف می‌گردد. تابع هدف نیز با در نظر گرفتن کارمزد خرید و فروش سهام در شرایط تصمیم‌گیری جریمه می‌شود. رابطه (۳) مربوط به برآورد بازده مورد انتظار هریک از سهم‌ها در شرایط عدم‌قطعیت است که از سطح بازده مورد انتظار سرمایه‌گذار باید بیشتر باشد. در این محدودیت هر عنصر $\overline{R}_j$ مقداری در بازه $\left[R_j - \hat{R}_j, R_j + \hat{R}_j\right]$ می‌گیرد یعنی دارای انحراف از ضریب میانگین اسمی تخمینی است پارامتر Γ مقدار عدد صحیح در بازه $\left[0, |J_0|\right]$ می‌گیرد که حد آستانه متناظر با عدم‌قطعیت پارامترهای مسئله است و سطح استواری در محدودیت به گونه‌ای کنترل می‌شود که موجه بودن جواب‌ها تضمین شوند. رابطه (۴) نرخ رشد مورد انتظار هر یک از سهم‌ها را در شرایط عدم‌قطعیت تبیین می‌کند. محدودیت (۵) سنجه ریسک را نشان می‌دهد که بر اساس سنجه نوسان‌پذیر تعریف می‌شود. روابط (۶) و (۷) محدودیت‌های قطعی مسئله هستند که به ترتیب محدودیت مجموع متغیرهای تصمیم و محدودیت کاردینالیتی مسئله محسوب می‌شوند. روابط (۸) تا (۱۱) محدویت‌های استوار مسئله هستند که متغیرهای آن، متغیرهای دوگانی هستند که به مسئله اضافه شده اند و نشان دهنده سطح اختلال داده‌ها هستند. محدودیت (۱۲) نامنفی بودن متغیرهای مدل را تبیین می‌کند. رابطه (۱۳) محدود بودن مقدار سهم را نشان می‌دهد. رابطه (۱۴) محدودیت مربوط به انتخاب سهم است که در صورت انتخاب مقدار یک و در غیر اینصورت مقدار صفر تخصیص می یابد. و رابطه (۱۵) بیانگر مثبت بودن نسبت سرمایه‌گذاری و وجود ریسک سرمایه‌گذاری است.

مدل همتای استوار RMSVL[1] تمامی شرایط مدل RMADL[2] را دارد. تفاوت این دو مدل با هم در نوع سنجه ریسک است. همانطور که در رابطه (۱۶) مشاهده می شود. تابع هدف مدل نشان دهنده کاهش ریسک از نوع سنجه نامطلوب یا ریسک میانگین نیم واریانس است که با تاثیر کارمزد خرید و فروش در شرایط سرمایه‌گذاری محقق می گردد

$$\Theta_{Robust}^{MSVL}$$

$$\min \frac{1}{T}\sum_{t=1}^{T}\xi_t^2 + \left(\sum_{j=1}^{n}\max\left(0,\left(\omega_{i(t-1)} - \omega_{i(t)}\right)cs\right) + \sum_{j=1}^{n}\max\left(0,\left(\omega_{i(t)} - \omega_{i(t-1)}\right)cb\right)\right) \quad (۱۶)$$

1. Robust Mean-Semi Variance-Liquidity
2. Robust Mean-Absolute Deviation-Liquidity

در ادامه، مدل بهینه‌سازی سبدسهام استوار با در نظر گرفتن سطح مطلوب محافظه‌کاری Γ و آشفتگی Δ اجرا می‌شود؛ تا وزن سهم‌های واجد شرایط به‌دست‌آمده از فاز اول محاسبه شود. و در مرحله پایانی فاز دو، با توجه به وزن‌های k سهم برتر در مدل، سبد سرمایه‌گذار موردنظر ساخته می‌شود. لازم به ذکر است که با تغییر حداقل بازده و حداقل نرخ رشد موردانتظار سرمایه‌گذار، مرز مؤثر ایجاد خواهد شد.

تجزیه‌وتحلیل داده‌ها

ابتدا متغیرهای مدل با استفاده از روش دلفی و معیارهای مالی برای ارزیابی سهام از دیدگاه‌های مختلف انتخاب می‌شوند؛ که شامل بازده، ریسک، سودآوری، نرخ رشد، اهرم، ارزش‌گذاری و رشد است. کارایی تمام سهم‌های قابل سرمایه‌گذاری برای گزینش بر اساس تعداد ورودی ها و خروجی‌ها مورد ارزیابی و اندازه‌گیری قرار می‌گیرند که تعداد ۳۷ رمز ارز بین‌المللی با قابلیت تراکنش عملیاتی وارد فضای رقابت شدند. رمز ارزهای فوق با تخصیص بالای حجم معاملاتی و در بازه زمانی ۲۰۲۰ تا ۲۰۲۱ انتخاب گردیدند.

مدل توسعه یافته، بعد از جمع‌آوری داده‌ها با تنظیم درصد نوسانات مختلف و Γ های متفاوت حل می شود تا میزان کارایی رمز ارزها تحت حالات مختلف تعیین گردد. همانطور که در جدول ۳ مشاهده می شود با در نظر گرفتن سطح اطمینان۹۰٪ به‌منظور ارضای محدودیت‌ها در DEA و سطوح محافظه‌کاری 84 / 4 ,86 / 3 ,56 / 3برای پارامترهای غیر قطعی و همچنین تنظیم کردن درجه اختلال داده‌ها بر روی مقدار ۰,۰۵ مدل‌های RCCR-IO، RCCR-OO، RBCC-IO، RBCC-OO، RADD-CRS و RADD-VRS اجرا می‌شوند. با اجرای مدل‌های RDEA رتبه‌بندی سهم‌ها در مدل‌ها طبق جدول ۳ ارائه می شود.

جدول۳. نتایج مدل‌های DEA

سهام	RCCR-IO	RCCR-OO	RBCC-IO	RBCC-OO	RADD-CRS	RADD-VRS
BTC	۰/۹۰۴۶۲۰۰۰	۱/۵۴۵۳۰۰۰	۱/۰۰۴۷۲۰۰	۱/۴۱۳۴۶۰۰	۱۰۲/۹۷۰۴۰	۶۶/۳۸۰۸۵۰
ETH	۰/۷۹۹۲۵۰۰۰	۱/۳۸۸۸۹۰۰	۰/۹۱۸۵۲۰۰۰	۱/۴۱۲۶۸۰۰	۵۸/۳۳۶۳۵۰	۲۲/۴۸۹۳۵۰
SOL	۰/۷۳۴۰۶۰۰۰	۱/۱۵۱۹۱۰۰	۰/۹۱۲۲۸۰۰۰	۱/۱۶۱۳۸۰۰	۲۶/۷۶۸۷۱۰	۵۵/۳۶۷۸۰۰
LUNA	۰/۶۶۴۸۱۰۰۰	۱/۴۴۰۶۳۰۰	۰/۹۱۰۱۸۰۰۰	۱/۱۵۷۰۵۰۰	۱۴/۶۲۷۲۹۰	۴۹/۴۶۸۹۴۰
ALGO	۰/۸۱۳۴۸۰۰۰	۱/۱۷۴۰۲۰۰	۰/۹۲۲۵۵۰۰۰	۱/۱۶۹۱۰۰۰	۱۹/۳۰۴۹۵۰	۲۶/۳۹۳۲۹۰
AXS	۰/۸۲۱۹۵۰۰۰	۱/۴۶۸۴۸۰۰	۰/۹۱۹۵۶۰۰۰	۱/۱۷۳۱۷۰۰	۵۲/۷۷۱۳۱۰	۱۲/۲۲۶۴۴۰
FIL	۰/۷۱۹۲۱۰۰۰	۱/۲۵۷۱۳۰۰	۰/۹۰۴۲۳۰۰۰	۱/۱۰۵۰۸۰۰	۷۳/۷۸۰۵۵۰	۲۶/۵۸۶۲۱۰
HBAR	۰/۷۴۲۷۹۰۰۰	۱/۳۶۳۲۸۰۰	۰/۸۶۷۲۹۰۰۰	۱/۲۷۴۶۹۰۰	۵۷/۱۱۶۷۶۰	۵۶/۳۲۲۲۱۰
GALA	۰/۶۸۲۷۲۰۰۰	۱/۲۲۶۴۸۰۰	۰/۸۷۷۱۲۰۰۰	۱/۲۷۷۶۶۰۰	۶۴/۵۷۷۰۴۰	۱۲/۷۱۵۶۰۰
HNT	۰/۷۹۳۷۵۰۰۰	۱/۵۰۰۷۱۰۰	۰/۸۴۳۷۱۰۰۰	۱/۲۲۲۹۱۰۰	۳۰/۳۶۶۸۷۰	۳۱/۱۳۷۹۴۰

با توجه به محدودیت کاردینالیتی در مدل بهینه‌سازی سبد، k=10 تعیین می‌شود. یعنی ده سهمی که میانگین رتبه بالاتری دارند انتخاب می‌گردند. در نهایت مجموعه سهم‌هایی که از مدل‌های RDEA در

دوره اول انتخاب شده‌اند ،عبارتند از: Bitcoin، Ethereum، Solana، Luna، Algorand، Axie Infinity، Filecoin، Hedera، Helium و Gala.

اجرای مدل بهینه‌سازی سبد برای رمز ارزها

برای اجرای مدل بهینه‌سازی سبد، داده‌های ماهانه بازده و نرخ رشد سهم‌های منتخب از بازار رمزارز استخراج می شود. پس از انتخاب سهام از فاز اول، مدل استوار پیشنهادی فاز دوم باتوجه به سطح اطمینان و سطح محافظه‌کاری مورد نظر و تنظیم درجه آشفتگی Δ برای یک محدودیت با K پارامتر نامشخص اجرا می‌شود. همچنین نرخ رشد سود مورد انتظار سبد، ثابت در نظر گرفته شده تا بازده مورد انتظار پرتفوی افزایش یابد.

جدول۴. نتایج مدل میانگین نیم واریانس نرخ رشد (RMSVG)

نرخ رشد سود مورد انتظار	بازده مورد انتظار	وزن سهم‌های منتخب از فاز اول										ریسک (SV) پرتفوی
		BTC	ETH	SOL	LUNA	ALGO	AXS	FIL	HBAR	GALA	HNT	
۱/۵۰ ۱	۰/۰۶	۰/۱۴۲	۰/۰۵۰۰	۰/۰۵۰	۰/۱۷۹	۰/۱۱۴	۰/۰۶۵۰	۰/۱۷۷	۰/۱۶۵	۰/۰۴۵۰	۰/۰۱۳۰	۰/۰۰۲۰
	۰/۰۹	۰/۱۳۸	۰/۱۶۳	۰/۰۳۴۰	۰/۰۲۰۰	۰/۱۱۴	۰/۱۱۵	۰/۱۰۰	۰/۰۱۴۰	۰/۱۲۹	۰/۱۷۳	۰/۰۰۵۵
	۰/۱۲۰	۰/۱۵۷	۰/۰۳۲۰	۰/۰۷۰۰	۰/۰۵۲۰	۰/۱۰۲	۰/۱۱۰	۰/۰۶۰۰	۰/۱۴۰	۰/۱۳۹	۰/۱۳۸	۰/۰۱۰۶
	۰/۱۵۰	۰/۰۷۳۰	۰/۰۲۳۰	۰/۱۲۷	۰/۱۷۲	۰/۰۳۸۰	۰/۰۳۰۰	۰/۱۵۸	۰/۰۸۹۰	۰/۱۴۸	۰/۱۴۲	۰/۰۱۷۱
	۰/۱۸۰	۰/۰۵۸۰	۰/۰۶۷۰	۰/۰۲۷۰	۰/۱۳۶	۰/۱۶۹	۰/۱۱۶	۰/۰۲۱۰	۰/۲۱۱	۰/۱۱۴	۰/۰۸۱۰	۰/۰۲۷۴
	۰/۲۱۰	۰/۰۵۵۰	۰/۱۴۱	۰/۱۳۰	۰/۱۶۴	۰/۰۴۶۰	۰/۰۸۶۰	۰/۰۴۴۰	۰/۱۸۳	۰/۰۸۲۰	۰/۰۶۹۰	۰/۰۳۶۸
	۰/۲۴۰	۰/۰۱۷۰	۰/۱۳۵	۰/۰۸۸۰	۰/۰۹۳۰	۰/۱۴۴	۰/۱۲۰	۰/۱۱۳	۰/۰۳۹۰	۰/۰۹۴	۰/۱۵۷	۰/۰۴۹۳

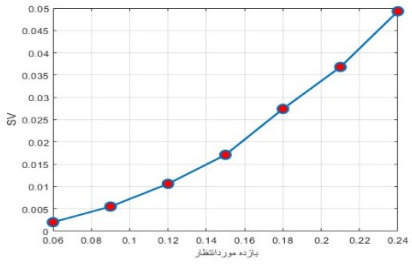
در جدول ۴ سطح اطمینان ۹۰٪ و درجه اختلال $\Delta = 0/05$ در نظر گرفته شده است. به‌منظور تامین پاسخ محدودیت‌ها در مدل و سطح محافظه‌کاری $\Gamma = 5/05$ برای هر محدودیت غیرقطعی، مدل RMSVG با ۱۰ پارامتر نامشخص اجرا شد. در این مدل ، نرخ رشد سود مورد انتظار سبد معادل ۱۱/۵در نظر گرفته

شده است تا بازده مورد انتظار پرتفوی افزایش یابد. که بیشترین ریسک سبد برابر ۰/۰۴۹۳ مربوط به بازده برابر با ۰/۲۴۰ وکمترین ریسک ۰/۰۰۲۰ مربوط به بازده مورد انتظار برابر با ۰/۰۶ است. با افزایش بازده موردانتظار پرتفوی، ریسک پرتفوی با سنجه نیم واریانس افزایش می‌یابد.

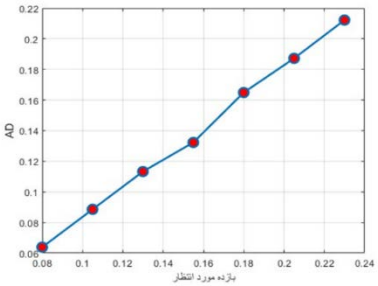
جدول۵. نتایج مدل میانگین نیم واریانس نرخ رشد (RMADG)

نرخ رشد سود مورد انتظار	بازده مورد انتظار	وزن سهام‌های منتخب از فاز اول										ریسک (AD) پرتفوی
		BTC	ETH	SOL	LUNA	ALGO	AXS	FIL	HBAR	GALA	HNT	
۱۱/۵۰	۰/۰۸	۰/۱۳۰	۰/۰۵۳	۰/۰۵۸	۰/۱۸۲	۰/۱۲۱	۰/۰۶۱	۰/۱۷۷	۰/۱۶۸	۰/۰۴۱	۰/۰۰۹	۰/۰۶۳۹
	۰/۱۰۵	۰/۱۲۵	۰/۱۴۵	۰/۰۳۹	۰/۰۱۹	۰/۱۱۵	۰/۱۲۰	۰/۱۰۰	۰/۰۰۸	۰/۱۴۵	۰/۱۸۴	۰/۰۸۸۶
	۰/۱۳۰	۰/۱۵۹	۰/۰۳۱	۰/۰۷۱	۰/۰۴۵	۰/۰۹۹	۰/۱۰۸	۰/۰۷۰۰	۰/۱۴۴	۰/۱۴۱	۰/۱۳۲	۰/۱۱۳۳
	۰/۱۵۵	۰/۰۷۲	۰/۰۲۲	۰/۱۰۱	۰/۱۸۱	۰/۰۲۹	۰/۰۳۸	۰/۱۵۸	۰/۰۹۲	۰/۱۵۵	۰/۱۵۲	۰/۱۳۲۲
	۰/۱۸۰	۰/۰۵۵	۰/۰۶۶	۰/۰۲۱	۰/۱۳۱	۰/۱۷۵	۰/۱۲۵	۰/۰۱۹	۰/۲۰۱	۰/۱۰۸	۰/۰۹۹	۰/۱۶۴۹
	۰/۲۰۵	۰/۰۵۸	۰/۱۵۱	۰/۱۱۵	۰/۱۵۵	۰/۰۵۱	۰/۰۷۷	۰/۰۴۵	۰/۱۸۷	۰/۰۹۱	۰/۰۷۰	۰/۱۸۷۲
	۰/۲۳۰	۰/۰۱۶	۰/۱۶۱	۰/۰۷۴	۰/۰۸۰	۰/۱۴۵	۰/۱۲۱	۰/۱۰۴	۰/۰۳۵	۰/۰۹۹	۰/۱۶۵	۰/۲۱۲۲

همانطور که در جدول ۵ مشاهده می‌شود در مدل همتای استوار سبد با سنجه ریسک قدر مطلق نیز با افزایش بازده سهام ریسک افزایش می یابد. با سطح اطمینان ٪۹۰ و درجه آشفتگی Δ به مقدار ۰/۰۵ و سطح محافظه‌کاری Γ برای هر محدودیت غیرقطعی همتای استوار مدل اجرا می‌شود که بیشترین ریسک سبد برابر ۰/۲۱۲۲ مربوط به بازده برابر با ۰/۲۳۰ و کمترین ریسک۰۶۳۹ ۰/ مربوط به بازده مورد انتظار ۰/۰۸ است.



شکل۲. مرز کارایی RMSVG



شکل۳. مرز کارایی RMADG.

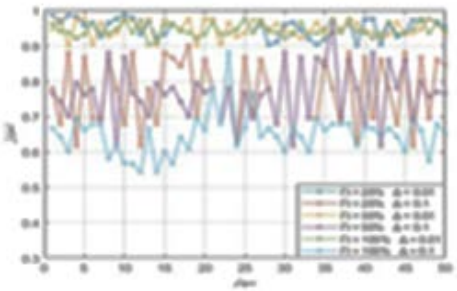
در شکل‌های ۲و ۳ تغییرات تابع هدف در مقابل تغییرات هزینه استواری قابل مشاهده است که روند هر دو شکل صعودی است اما سرعت رشد شکل ۲ کندتر انجام می‌شود.

تحلیل حساسیت

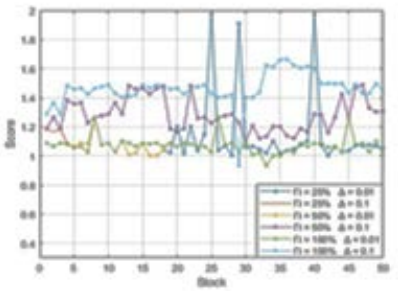
تحلیل حساسیت فاز اول

در ابتدا تاثیر سطح محافظه‌کاری بر کارایی مدل‌ها مورد بررسی قرار می‌گیرد. در این بخش، تحلیل حساسیت همه مدل‌های استوار به ازای Γ و Δ مختلف تبیین می‌شود.

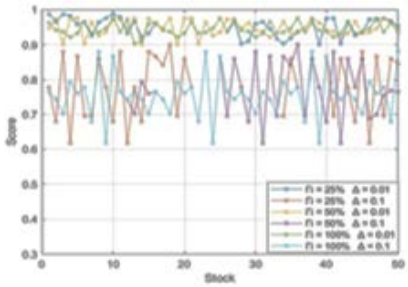
تحلیل حساسیت مدل‌هایRCCR-IO، RCCR-OO، RBCC-IO، RBCC-OO، RADD-CRS و RADD-VRS به ترتیب در شکل های ۴ تا ۹ ارائه شده است. در این راستا، با افزایش بودجه استواری Γ از ۰٪ به ۱۰۰٪ برای پارامترهای نامشخص، و افزایش درجه آشفتگی Δ از ۰/۰۱ به ۰/۱ مقدار تابع هدف بدتر شده و میزان کارایی کاهش می‌یابد، همچنین با افزایش بودجه استواری و درجه آشفتگی در شکل (۴) سهم LTCکمترین مقدار و سهم XLM بیشترین مقدار، در شکل ۵ سهم XLM کمترین مقدار، FTM بیشترین مقدار، درشکل(۶) THETA کمترین مقدار و FTM بیشترین مقدار، در شکل (۷) $MATIC$ و GRTبیشترین مقدار، درشکل(۸) BTCکمترین مقدار و FTM بیشترین مقدار و در شکل (۹) $GALA$ کمترین مقدار و XRP بیشترین مقدار را در ستون آخر جداول تحلیل حساسیت به خود اختصاص داده‌اند.



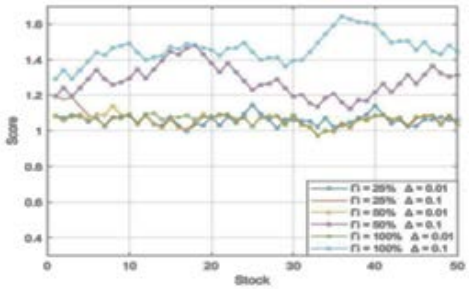
شکل ۴. روند مدل استوار CCR-IO برای r و Δ مختلف



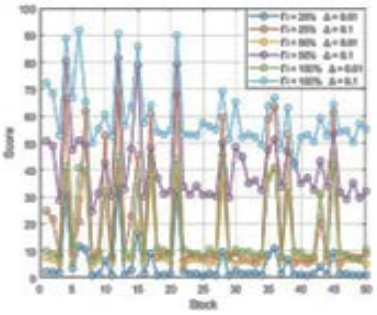
شکل ۵. روند مدل استوار CCR-OO برای r و Δ مختلف



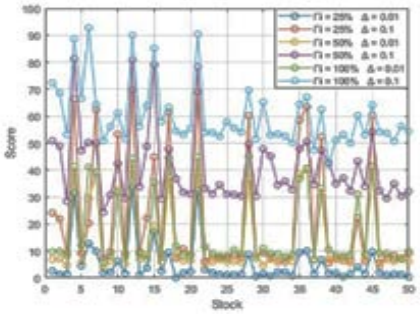
شکل ۶. روند مدل استوار BCC-IO برای r و Δ مختلف



شکل ۷. روند مدل استوار برای BCC-OO برای r و Δ مختلف



شکل ۸. روند مدل استوار ADD-CRS برای Γ و Δ مختلف



شکل ۹. روند مدل استوار ADD-VRS برای Γ و Δ مختلف

همچنین تحلیل حساسیت RMADG برای Γ و Δ مختلف ارائه می شود. نتایج نشان می‌دهد که با افزایش Γ از ۰٪ به ۱۰۰٪ و آشفتگی Δ از ۰/۰۱ به ۰/۱ مقدار تابع هدف بدتر می‌شود. یعنی با افزایش میزان عدم‌قطعیت، مجموعه شدنی(مقادیر موجه) همتای استوار مسئله بهینه‌سازی کوچک می‌شود. لازم به ذکر است که بازده مورد انتظار و رشد مورد انتظار پرتفوی در هر دو مدل استوار برابر در نظر گرفته شد.

جدول۶. نتایج مدل میانگین نیم واریانس بازده (RMSVG) با Γ و Δ مختلف.

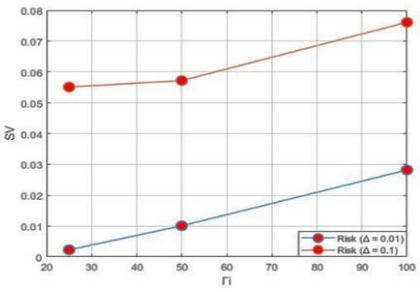
		وزن سهام‌های منتخب از فاز اول										ریسک (SV) پرتفو
		BTC	ETH	SOL	LUNA	ALGO	AXS	FIL	HBAR	GALA	HNT	
MSVG		۰/۱۱۸	۰/۰۹۵	۰/۰۸۲	۰/۱۶۲	۰/۱۱۴	۰/۰۷۹	۰/۱۵۱	۰/۱۴۹	۰/۰۵۲	۰/۰۱۹	۰/۰۰۳۹
Γi = 25%	Δ = 0.01	۰/۱۲۱	۰/۰۵۱۰	۰/۰۵۵	۰/۱۷۰	۰/۱۲۴	۰/۰۶۹۰	۰/۱۸۷	۰/۱۶۳	۰/۰۴۱۰	۰/۰۱۴۰	۰/۰۰۲۳
	Δ = 0. 1	۰/۱۵۰	۰/۱۶۳	۰/۰۴۴۰	۰/۰۳۲۰	۰/۱۰۴	۰/۱۰۵	۰/۱۱۲	۰/۰۱۳۰	۰/۱۳۹	۰/۱۳۸	۰/۰۵۵۱
Γi = 50%	Δ = 0.01	۰/۱۵۶	۰/۰۴۱۰	۰/۰۶۵۰	۰/۰۵۱۰	۰/۱۲۰	۰/۱۱۳	۰/۰۷۱۰	۰/۱۵۵	۰/۱۱۹	۰/۱۱۹	۰/۰۱۰۱
	Δ = 0.1	۰/۰۷۷۰	۰/۰۲۵۰	۰/۱۳۲	۰/۱۷۱	۰/۰۳۲۰	۰/۰۲۵	۰/۱۸۱	۰/۰۷۸	۰/۱۶۲	۰/۱۱۷	۰/۰۵۷۲
Γi = 100%	Δ = 0.01	۰/۰۵۵	۰/۰۶۴	۰/۰۲۱	۰/۱۲۱	۰/۱۵۵	۰/۱۲۱	۰/۰۲۰	۰/۲۰۱	۰/۱۱۹	۰/۱۲۳	۰/۰۲۸۲
	Δ = 0.1	۰/۰۵۲	۰/۱۳۸	۰/۱۳۲	۰/۱۶۰	۰/۰۴۵	۰/۰۸۰	۰/۰۴۶	۰/۱۸۹	۰/۰۸۱	۰/۰۷۷	۰/۰۷۶۱

بر اساس جدول ۶، با تغییرات Γ و درجه آشفتگی، ریسک مدل افزایش پیدا می‌کند که بیشترین مقدار ریسک در $\Gamma = 100, \Delta = 0/1$ برابر است با ۰/۰۷۶۱ و کمترین ریسک در $\Gamma = \%25, \Delta = 0/01$ برابر با ۰/۰۰۲۳ است.

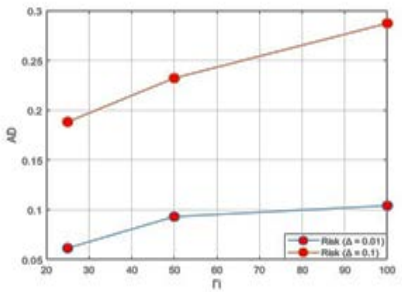
جدول۷. نتایج مدل میانگین نیم واریانس بازده (RMADG)

MADG		BTC	ETH	SOL	LUNA	ALGO	AXS	FIL	HBAR	GALA	HNT	وزن سهام‌های منتخب از فاز اول	ریسک (AD) پرتفو
		۰/۱۲۲	۰/۰۸۲	۰/۰۶۳	۰/۱۵۲	۰/۱۲۲	۰/۰۶۹	۰/۱۵۲	۰/۱۳۲	۰/۰۶۱	۰/۰۰۵		۰/۰۶۸۹
Γi = 25%	Δ = 0.01	۰/۱۳۸	۰/۰۶۲	۰/۰۴۳	۰/۱۷۲	۰/۱۲۳	۰/۰۵۹	۰/۱۷۸	۰/۱۴۹	۰/۰۵۸	۰/۰۱۸		۰/۰۶۱۵
	Δ = 0. 1	۰/۱۵۵	۰/۱۳۸	۰/۰۳۲	۰/۰۱۲	۰/۱۱۲	۰/۱۳۵	۰/۰۹۸	۰/۰۰۷	۰/۱۶۲	۰/۱۴۹		۰/۱۸۸۲
Γi = 50%	Δ = 0.01	۰/۱۵۲	۰/۰۲۸	۰/۰۸۸	۰/۰۴۲	۰/۱۱۲	۰/۱۱۲	۰/۰۷۱	۰/۱۶۲	۰/۱۳۲	۰/۱۰۱		۰/۰۹۳۱
	Δ = 0.1	۰/۰۷۱	۰/۰۲۱	۰/۱۲۱	۰/۱۷۵	۰/۰۱۹	۰/۰۴۲	۰/۱۶۲	۰/۱۰۱	۰/۱۴۹	۰/۱۳۹		۰/۲۳۲۱
=100% Γi	Δ = 0.01	۰/۰۵۲	۰/۰۶۰	۰/۰۳۰	۰/۱۴۵	۰/۱۸۱	۰/۱۲۲	۰/۰۱۸	۰/۲۲۲	۰/۱۲۰	۰/۰۵۰		۰/۱۰۴۱
	Δ = 0.1	۰/۰۵۱	۰/۱۲۲	۰/۱۱۹	۰/۱۶۵	۰/۰۸۵	۰/۰۷۴	۰/۰۳۹	۰/۱۷۸	۰/۰۹۹	۰/۰۶۸		۰/۲۸۷۱

همانطور که در جدول ۷ مشاهده می‌شود هر چه مقدار Γ و درجه آشفتگی Δ بیشتر شود مقدار ریسک نیز در این سنجه افزوده می‌گردد. که بیشترین ریسک سبد برابر ۰/۲۸۷۱ مربوط به $\Gamma = \%100, \Delta = 0/01$ و کمترین ریسک برابر با ۰/۰۶۱۵ مربوط به $\Gamma = \%25, \Delta = 0/1$ است.



شکل ۱۰. SV در RMSVG.



شکل۱۱. AD در RMADG.

شکل‌های ۱۰و ۱۱ بیانگر تغییرات سنجه‌های ریسک در برابر عدم‌قطعیت پارامترهای مسئله و سطح محافظه‌کاری و درجه آشفتگی داده‌ها است. مقایسه این دوشکل نشان می‌دهد که مقدار ریسک در سنجه نیم واریانس نسبت به ریسک با سنجه قدر مطلق کمتر است که نشان از عملکرد بهتر مدل RMSVG نسبت به مدل RMADG است.

بحث و نتیجه گیری

در این پژوهش یک مدل ترکیبی بهینه‌سازی با بکارگیری همزمان روش تحلیل پوششی داده‌ها و بهینه‌سازی استوار به منظور ارزیابی ریسک با ورودی‌ها و خروجی‌های غیرقطعی توسعه یافته است. مطالعه حاضر، چارچوبی برای انتخاب پورتفوی بهینه و سنجش میزان اعتبار مدل با ساختاری باز در هر مرحله است. به گونه‌ای که در هر مرحله پارامترهای انحراف معیار، نرخ رشد سود و بازده هر سهم به ازای سطح محافظه‌کاری برنامه‌ریزی استوار غیرقطعی در نظر گرفته می‌شوند. رویکرد بهینه‌سازی استوار بکار گرفته شده عدم‌قطعیت را در داده‌های ورودی و خروجی به طور هم‌زمان و بدون نیاز به شناسایی توزیع داده‌ها، توسط سطح محافظه‌کاری تحت کنترل قرار می‌دهد. نتایج نشان می‌دهد با افزایش میزان اختلال، میانگین کارایی کل در فاز اول کاهشی است و این کاهش در نمره کارایی هر یک ازDMUها قابل مشاهده است. لازم به ذکر است که با توجه به محدودیت‌های سخت‌گیرانه در مدل‌های توسعه یافته و کاهش سطح کارایی، واحدهای کمتری روی مرز کارایی قرار می‌گیرند و در نتیجه نیازی به استفاده از مدل‌های ابرکارا برای ارزیابی مجدد واحدهای کارا نیست. همچنین توانایی تفکیک‌پذیری و رتبه بندی مدل‌های پیشنهادی در محاسبه کارایی واحدهای تصمیم‌گیری مشهود است. علاوه بر این، سطح کارایی مدل‌های استوار به ازای سطح محافظه‌کاری و درجه اختلال پارامترها تغییر نموده و مدل‌های ورودی‌محور و خروجی‌محور در ارزیابی کارایی موثر و در یک راستا عمل می‌کنند.

یافته‌های این تحقیق در فاز دوم نشان می‌دهد که وضعیت سبد بهینه، وابسته به تغییرات بازده مورد انتظار است که بر اساس سیر صعودی میانگین بازده، انتخاب شده‌اند. با افزایش سطح بازده مورد انتظار سبد بهینه، ریسک سبد با هر دو سنجه ریسک میانگین انحراف مطلق و میانگین نیم واریانس افزایش می‌یابد. شایان ذکر است با افزایش بازده مورد انتظار سبد، سهم‌هایی مورد انتخاب قرار می‌گیرد که از ارزش بازاری بهینه‌ای برخوردار باشند که نشان‌دهنده کنترل مدل در مواجه با نوسان داده‌های غیرقطعی است. هرچه که سطح محافظه‌کاری بیشتر شود، فرصت سرمایه‌گذاری برای ریسک‌های مطلوب افزایش می‌یابد در صورتی‌که برای ریسک‌های نامطلوب روندی کاهشی است. همانطورکه در نتایج مشاهده می‌شود با افزایش سطح محافظه‌کاری و افزایش هزینه استواری با حضور عدم اطمینان داده‌های مسئله، بازده مورد انتظار سبد سهام در جواب بهینه افزایش پیدا می‌کند از طرف دیگر، با بالابردن سطح محافظه‌کاری مقدار تابع هدف به عنوان ریسک سبد افزایش می‌یابد که عامل اصلی آن افزایش نوسانات داده‌ها در شرایط عدم‌قطعیت جستجو است. لازم به ذکر است با افزایش سطح محافظه‌کاری مقدار تابع هدف بهبود نمی‌یابد و در یک سطح معینی با مقدار ثابتی همگرا می‌شود.

تابع هدف با سنجه ریسک میانگین انحراف مطلق با افزایش سطح محافظه‌کاری و به ازای حداقل درجه اختلال با روند سریعتری افزایش پیدا می‌کند تا به مرز ۵۰٪ می رسد بعد از آن بر اثر کاهش تاثیر میزان محافظه کاری روند آهسته ای را دنبال می‌کند. که ریسک گریزی مسئله را نسبت به تغییرات سطح محافظه‌کاری و همگرایی مسئله با حداقل درجه اختلال نشان می‌دهد. از طرف دیگر ارزیابی نمودار تابع با سنجه میانگین نیم واریانس، حساسیت بیشتر تابع هدف نسبت به تغییرات سطح محافظه‌کاری را تبیین

می‌نماید. شایان ذکر است مقایسه روند نمودار ریسک با دو سنجه مورد نظر نشان می‌دهد که عملکرد مدل همتای استوار RMSVG مطلوب تر بوده و تبادل بهینه‌ای بین استواری و بهینگی جواب ایجاد می‌کند.

با بررسی جامعی که بر روی پژوهش‌های داخلی و خارجی انجام شده است در تحقیقات آتی حرکت در مسیرهای زیر برای ادامه این پژوهش توصیه می شود.

- استفاده از مدلهای استوار برای ساختارهای شبکه ای تحلیل پوششی داده‌ها در فاز اول
- در نظر گرفتن همبستگی در عدم‌قطعیت داده‌ها
- ارزیابی کارایی متقاطع برای ایجاد رتبه بندی دقیق‌تر برای فاز اول و بکارگیری معیارهای ریسک دیگر برای فاز دوم
- بکارگیری مدلهای TVP-VAR با رویکرد برنامه‌ریزی استوار در بازارهای مالی متغیر و شرایط عدم اطمینان فزاینده پارامتری

ملاحظات اخلاقی

حامی مالی: پژوهش حامی مالی ندارد.
مشارکت نویسندگان: تمام نویسندگان در آماده سازی پژوهش مشارکت داشته‌اند.
تعارض منافع بنابر اظهار نویسندگان در این پژوهش هیچگونه تعارض منافعی وجود ندارد.
تعهد کپی رایت: طبق تعهد نویسندگان حق کپی رایت رعایت شده است.

Refrences

Abounoori, E., Tehrani, R., & Shamani, M. (2018). The performance of risk-based portfolios under different conditions in the stock market (Empirical evidence from the Iranian stock market). *Quarterly of Financial Economics*, 12(45), 51–71. (In Persian)

Arabmaldar, A., Jablonsky, J., & Hosseinzadeh Saljooghi, F. (2017). A new robust DEA model and super-efficiency measure. *Optimization*, 66(5), 723–736.

Ahir, H., Bloom, N., & Furceri, D. (2022). The World Uncertainty Index. *SSRN Electronic Journal*. https://doi.org/10.2139/ssrn.4039482

Ahn, K., Lee, D., Sohn, S., & Yang, B. (2019). Stock market uncertainty and economic fundamentals: an entropy-based approach. *Quantitative Finance*, 19(7), 1151–1163. https://doi.org/10.1080/14697688.2019.1579922

Ashrafi, H., & Thiele, A. C. (2021). A study of robust portfolio optimization with European options using polyhedral uncertainty sets. Operations Research Perspectives, 8, 100178. https://doi.org/10.1016/j.orp.2021.100178

Banker, R. D., Charnes, A., & Cooper, W. W. (1984). Some models for estimating technical and scale inefficiencies in data envelopment analysis. *Management science*, 30(9), 1078-1092.

Ben-Tal, A., & Nemirovski, A. (2000). Robust solutions of linear programming problems contaminated with uncertain data. *Mathematical programming*, 88(3), 411-424.

Bertsimas, D., & Sim, M. (2004). The Price of Robustness. Operations Research, 52(1), 35–53.

Boussofiane, A., Dyson, R. G., & Thanassoulis, E. (1991). Applied data envelopment analysis. *European journal of operational research*, 52(1), 1-15.

Burkaltseva, D., Niyazbekova, S., Borsch, L., Jallal, M. A. K., Apatova, N., Nurpeisova, A., Semenov, A., & Zhansagimova, A. (2021). Methodological Foundations of the Risk of the Stock Markets of Developed and Developing Countries in the Conditions of the Crisis. *Journal of Risk and Financial Management*, 15(1), 3.

Charnes, A., Cooper, W. W., Golany, B., Seiford, L., & Stutz, J. (1985). Foundations of data envelopment analysis for Pareto-Koopmans efficient empirical production functions. *Journal of Econometrics*, 30(1-2), 91–107.

Chuliá, H., Guillén, M., & Uribe, J. M. (2017). Measuring uncertainty in the stock market. *International Review of Economics & Finance*, 48, 18-33.

Davtalab, A., & Mehrjoo, R. (2019). Stock portfolio ranking using financial technology set in DEA models (case study: Tehran Stock Exchange). *Journal of New Researches in Mathematics*, 5(21), 47–56. (In Persian)

Doshi, H., Kumar, P., & Yerramilli, V. (2018). Uncertainty, capital investment, and risk management. *Management Science*, 64(12), 5769-5786.

Escobari, D., & Jafarinejad, M. (2019). Investors' Uncertainty and Stock Market Risk. Journal of Behavioral Finance, 20(3), 304–315.

Eyvazloo, R., Fallahpour, S., & Dehghani Ashkezari, M. (2021). Index tracking using Two-tail Mixed Conditional Value-at-risk in Tehran Stock Exchange. *Financial Research Journal*, 23(4), 545–563. (In Persian)

Gentile, C., Pinto, D. M., & Stecca, G. (2022). Price of robustness optimization through demand forecasting with an application to waste management. *Soft Computing*. https://doi.org/10.1007/s00500-022-07148-y

Hamidieh, A., & Arshadikhamseh, A. (2021). The flexible Possibilistic-Robust mathematical programming approach for the resilient supply chain network: An operational plan. *Journal of Advanced Manufacturing Systems*. https://doi.org/10.1142/s0219686721500220

Hamidieh, A., & Babaei, S. (2022). Flexible and Robust Optimization Combination for Reliable Forward-Reverse Logistic Network Design using Benders' Decomposition Method. *Journal of Quality Engineering and Production Optimization*, 7(2), 107–134. https://doi.org/10.22070/JQEPO.2023.16393.1236

Juszczuk, P., Kaliszewski, I., Miroforidis, J., & Podkopaev, D. (2022). Mean--variance portfolio selection problem: Asset reduction via nondominated sorting. *The Quarterly Review of Economics and Finance*, 86, 263–272. https://doi.org/10.1016/j.qref.2022.07.007

Karimi, T., Pahlavan zadeh, M., Alwardi, A., & Amra, M. (2021). Proposing DEA-GZBWM Method with Fuzzy Uncertainty. *Industrial Management Journal*, 13(3), 415–434. (In Persian)

Kayedppour, F., Sayadmanesh, S., Salmani, Y., & Sadeghi, Z. (2021). Measuring the Efficiency and Productivity of Cement Companies in Tehran Stock Exchange by Data Envelopment Analysis and Malmquist Productivity Index in Gray Environment. *Journal of Innovation Management and Operational Strategies*, 1(4), 363–382. (In Persian)

Konno, H., & Yamazaki, H. (1991). Mean-absolute deviation portfolio optimization model and its applications to Tokyo stock market. Management science, 37(5), 519-531.

Kouchaki Tajani, M., Fallah, R., Maranjory, M., & Alikhani, R. (2021). Presentation of a scenario-based optimization model for bank loan portfolio under conditions of uncertainty based on robust Mulvey's approach. *Journal of Financial Management Perspective*, 11(35), 67–90. (In Persian)

Li, B., & Teo, K. L. (2021). Portfolio optimization in real financial markets with both uncertainty and randomness. *Applied Mathematical Modelling*, 100, 125-137.

Luan, D., Wang, C., Wu, Z., & Xia, Z. (2021). Two-stage robust optimization model for uncertainty investment portfolio problems. *Journal of Mathematics*, 2021.

Mamipour, S., & Najafzadeh, B. (2017). Three-Stage Environmental Efficiency Evaluation of Iran's Power Industry: Network Data Envelopment Analysis Approach. *Financial Research Journal*, 53(2), 191–217. (In Persian)

Markowitz, H. (1952). Portfolio Selection. The Journal of Finance, 7(1), 77–91.

Mashayekhi, Z., & Omrani, H. (2016). An integrated multi-objective Markowitz–DEA cross-efficiency model with fuzzy returns for portfolio selection problem. *Applied Soft Computing*, 38, 1–9. https://doi.org/10.1016/j.asoc.2015.09.018

Modarres, M., & Hasanzadeh Mofrad, M. (2011). ROBUST OPTIMIZATION OF A PORTFOLIO WHICH INCLUDES OPTIONS. *Industrial Engineering and Management Journal*, 27-1(1), 93–102. (In Persian)

Mohammadi, S., Raei, R., & Tondnevis, F. (2021). Application of Copula Based Correlations and Mutual Information in Time Series Clustering and Enhanced Indexing by Adopting the Robust Optimization Approach. *Financial Research Journal*, 23(4), 497–522. (In Persian)

Mohammadzadeh, K., & Heydari, M. (2022). Creating an Index to Measure Financial Uncertainty Using the Fama-French Five-factor Model in State Space by the Kalman Filter Algorithm. *Financial Research Journal*, 24(2), 307–328. (In Persian)

Mukashov, A. (2022). Parameter uncertainty in policy planning models: Using portfolio management methods to choose optimal policies under world market volatility. Economic Analysis and Policy. https://doi.org/10.1016/j.eap.2022.11.007

Nourahmadi, M., & Sadeqi, H. (2022). A Machine Learning-Based Hierarchical Risk Parity Approach: A Case Study of Portfolio Consisting of Stocks of the Top 30 Companies on the Tehran Stock Exchange. *Financial Research Journal*, 24(2), 236–256. (In Persian)

Peykani, P., Mohammadi, E., Hosseinzadeh, F., & Tehrani, R. (2020). Performance assessment of investment companies under uncertainty. *Scientific Journal of Financial Science and Securities Analysis*, 13(48). (In Persian)

Peykani, P., Mohammadi, E., Jabbarzadeh, A., Rostamy-Malkhalifeh, M., & Pishvaee, M. S. (2020). A novel two-phase robust portfolio selection and optimization approach under uncertainty: A case study of Tehran stock exchange. PLOS ONE, 15(10), e0239810. https://doi.org/10.1371/journal.pone.0239810

Qodsi, S., Tehrani, R., & Bashiri, M. (2015). Portfolio optimization with simulated annealing algorithm. *Financial Research Journal*, 17(1), 141–158. (In Persian)

Rajabi, M., & Khaloozadeh, H. (2014). Optimal Portfolio Prediction in Tehran Stock Market using Multi-Objective Evolutionary Algorithms, *NSGA-II and MOPSO. Financial Research Journal*, 16(2), 253–270. (In Persian)

Rezaei, Z., & kiyani, F. (2021). Investigating the effect of economic uncertainty on the relationship between comparability of financial statements and the stock price crash risk in Tehran Stock Exchange. *Journal of Financial and Investment Advances*, 2(4), 73–105. (In Persian)

Sina, A., & Fallah, M. (2019). Optimizing the investment portfolio with Frein's value theory approach in Tehran Stock Exchange. *Quarterly Journal of Financial Engineering and Securities Management*, 10(40), 184–200. (In Persian)

Sina, A., & Fallah, M. (2020). Comparison of Value Risk Models and Coppola-CVaR in Portfolio Optimization in Tehran Stock Exchange. *Journal of Financial Management Perspective*, 10(29), 125–146. (In Persian)

Soyster, A. L. (1973). Technical Note—Convex Programming with Set-Inclusive Constraints and Applications to Inexact Linear Programming. Operations Research, 21(5), 1154–1157.

Wei, Q. (2001). Data envelopment analysis. Chinese Science Bulletin, 46(16), 1321-1332.

Wu, Z., & Sun, K. (2023). Distributionally robust optimization with Wasserstein metric for multi-period portfolio selection under uncertainty. *Applied Mathematical Modelling*, 117, 513–528. https://doi.org/10.1016/j.apm.2022.12.037

Zhang, C., Gong, X., Zhang, J., & Chen, Z. (2023). Dynamic portfolio allocation for financial markets: A perspective of competitive-cum-compensatory strategy. J*ournal of International Financial Markets*, Institutions and Money, 84, 101737. https://doi.org/10.1016/j.intfin.2023.101737

COPYRIGHTS

This license allows others to download the works and share them with others as long as they credit them, but they can't change them in any way or use them commercially.