

## ارائه رویکردی مبتنی بر بهینه‌سازی تصادفی به منظور حل مساله انتخاب سبد سهام در بازار سرمایه ایران با استفاده از الگوریتم‌های فراابتکاری

سبحان مصطفائی درمیان

کارشناسی ارشد مهندسی صنایع دانشگاه کردستان، [sobhan.mostafayi@gmail.com](mailto:sobhan.mostafayi@gmail.com)

میثم دعائی\*

استادیار مدیریت مالی دانشگاه آزاد اسلامی واحد اسفراین، [me.doaei@iau.ac.ir](mailto:me.doaei@iau.ac.ir)

تاریخ دریافت: ۱۴۰۰/۰۶/۰۱ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۰/۱۲/۰۱

### چکیده

در این پژوهش مساله بهینه‌سازی سبد سهام در شرکت‌های پذیرفته شده در بازار سرمایه ایران به عنوان یک مساله بهینه‌سازی تصادفی چندهدفه مورد بررسی قرار گرفته است. تابع هدف اول شامل کمینه‌سازی ریسک و تابع هدف دوم شامل بیشینه‌سازی بازده است. محدودیت‌های مدل شامل محدودیت انتخاب شرکت‌ها به صورت منحصربفرد و همچنین محدودیت بودجه می‌باشد. به منظور حل مساله، دو الگوریتم فراابتکاری ژنتیک و گرگ خاکستری توسعه داده شده که با استفاده مثال‌های عددی برگرفته از ۴۹۱ شرکت پذیرفته شده در بورس اوراق بهادار تهران و فرابورس ایران از تاریخ ۵ فروردین ۱۳۹۷ تا ۳۰ آذر ۱۴۰۰، مورد تجزیه و تحلیل عددی قرار گرفتند. مطابق با نتایج عددی می‌توان مشاهده نمود الگوریتم گرگ خاکستری در تمامی مثال‌ها دارای کارایی بالاتری نسبت به الگوریتم ژنتیک است. البته قابل توجه است که در هیچ کدام از مثال‌های عددی، درصد پاسخ‌های ناموجه در رویه بهبود الگوریتم‌ها از ۱۰/۰۲ درصد بیشتر نشده است. همچنین درصد بهبود کارایی الگوریتم گرگ خاکستری نسبت به الگوریتم ژنتیک بین ۳ تا ۱۱ درصد گزارش شده است.

**واژه‌های کلیدی:** بهینه‌سازی سبد سهام، الگوریتم ژنتیک، الگوریتم گرگ خاکستری،

بورس اوراق بهادار تهران و فرابورس ایران.

**طبقه‌بندی JEL:** G11, C73, C61.

---

\* نویسنده مسئول مکاتبات

## ۱-مقدمه

یکی از مفاهیم و اصول اولیه مدیریت سرمایه‌گذاری، عدم انتقال سرمایه به بخش‌هایی با ریسک خیلی بالا است؛ چراکه در غیراینصورت دید نامشخصی در برابر مقدار سود و حفظ اصل سرمایه به وجود می‌آید (رضایی و همکاران<sup>۱</sup>، ۱۳۹۷). البته باید توجه داشت که هر سرمایه‌گذاری دارای ریسک مشخصی بوده و در واقع ریسک بخش مهمی از علم سرمایه‌گذاری است (سینا و فلاح<sup>۲</sup>، ۱۳۹۸)، اما موفقیت سرمایه‌گذاران در بازارهای مالی بطور مستقیم به دانش آن‌ها از ریسک‌های موجود ارتباط دارد. این دانش نیز از طریق تجربه و البته استفاده از ابزارهای علمی پیش‌بینی روندهای موجود در بازار حاصل می‌شود. به همین دلیل می‌توان گفت که مساله مدیریت ریسک سرمایه‌گذاری در سال‌های اخیر به یک حوزه علمی تبدیل شده که بسیاری از محققان به بررسی شرایط مختلف آن می‌پردازند (راموز و همکاران<sup>۳</sup>، ۱۳۹۹). یکی از راهکارهایی که تقریباً در تمامی مطالعات علمی و تجربی بدان اشاره شده، ایجاد یک سبد سهام است که بتوان از طریق آن مدیریت مناسبی بر ریسک‌های موجود داشت تا در نهایت بیشترین سود ممکن حاصل شود. اما موضوعی که در این زمینه مطرح می‌شود، ایجاد سبد بهینه سهام با توجه به اهداف مختلف سرمایه‌گذاران بوده که خود به عنوان یک مساله پیچیده مورد توجه است. در یک تعریف کلی مساله انتخاب سبد سهام به معنای به حداقل رساندن ریسک موجود در سرمایه‌گذاری با توجه به سطح معینی از بازده می‌باشد (کلنر و یوتز<sup>۴</sup>، ۲۰۱۹). این مساله را می‌توان به عنوان یک مساله بهینه‌سازی در حیطه علم تحقیق در عملیات در نظر گرفت؛ چراکه همواره تمایل به یافتن بهترین پاسخ از میان مجموعه‌ای از پاسخ‌های موجه با در نظر گرفتن مجموعه‌ای از محدودیت‌ها است (ژو و همکاران<sup>۵</sup>، ۲۰۱۹). بهینه‌سازی سبد سهام بیانگر ایجاد یک ساختار هماهنگ از سهام موجود در بازار و البته تخصیص وجوه به صورت مناسب است (لیاکوراس<sup>۶</sup>، ۲۰۱۹). این مفهوم به تدریج با تغییراتی در سایر زمینه‌های اقتصادی و صنعتی مورد استفاده قرار گرفته است

<sup>1</sup> Rezaei et al. (2018)

<sup>2</sup> Sina & Falah (2019)

<sup>3</sup> Ramoz et al. (2020)

<sup>4</sup> Kellner & Utz

<sup>5</sup> Zhou et al.

<sup>6</sup> Liagkouras

(دپاکوا و کوپا<sup>۱</sup>، ۲۰۱۴). معمولاً یکی از اهداف ثابت موجود در این حوزه، بیشینه‌سازی بازده سبد سهام بوده که مستقیماً اشاره به بیشینه‌سازی سود نهایی دارد (اویکونومو و همکاران<sup>۲</sup>، ۲۰۱۸). اما امروزه به دلیل پیچیده شدن تصمیمات که ناشی از تغییرات در شرایط سیاسی و اقتصادی جوامع مختلف می‌باشد، نیاز است که اهداف دیگری شامل کمینه‌سازی ریسک نیز مورد بررسی قرار گیرد (اویکونومو و همکاران، ۲۰۱۸). این مساله به عنوان یک مشکل مدیریتی در بخش تصمیمات تاکتیکی نیز مورد توجه سرمایه‌گذاران بازار سرمایه قرار گرفته است که همواره به دنبال یافتن ترکیب بهینه سرمایه‌گذاری در شرکت‌های مختلف با توجه به معیارهای مختلفی از جمله ریسک و بازده هستند. باید به این نکته توجه نمود که ورودی اصلی سیستم‌های پشتیبان تصمیم در ارائه نتایج قابل اطمینان، پارامترهایی هستند که به مقدار زیادی به شرایط اقتصادی، اجتماعی و سیاسی بستگی داشته و تعیین مقادیر دقیق آن‌ها دشوار است. به عبارت دیگر، همواره سطح مشخصی از عدم قطعیت در تصمیمات وجود دارد که برای برخورد با آن باید از ابزارهای علمی مناسب استفاده نمود. بنابراین سوال اصلی پژوهش بدین صورت مطرح می‌شود که آیا رویکردی کمی مبتنی بر برنامه‌ریزی ریاضی می‌تواند پاسخ‌های بهینه جهت انتخاب سبد سهام در بازار سرمایه ایران ارائه دهد؟

برای پاسخ به این سوال، در این پژوهش مساله انتخاب بهینه سبد سهام به عنوان یک مساله بهینه‌سازی چندهدفه مورد بررسی قرار می‌گیرد. در این مدل که دارای ساختاری مبتنی بر برنامه‌ریزی تصادفی است، تابع هدف بیشینه‌سازی بازده و کمینه‌سازی ریسک در نظر گرفته خواهد شد. همچنین به دلیل وجود ریسک‌های سرمایه‌گذاری که انتخاب نهایی سبد سهام را به چالش‌هایی مواجه خواهند کرد (گارانتا و زفورانی<sup>۳</sup>، ۲۰۰۸)، تابع هدف دوم مساله شامل یک تابع واریانس درجه دوم است که به محاسبه ریسک‌های موجود در سرمایه‌گذاری می‌پردازد.

قابل به ذکر است که اساس این تابع مطابق با پژوهش انجام شده توسط پون<sup>۴</sup> (۲۰۱۸) خواهد بود. همچنین مدل پژوهش براساس مدل ارائه شده توسط کلنر و یوتز<sup>۵</sup> (۲۰۱۹)

---

1 Dupačová & Kopa

2 Oikonomou & Sutcliffe

3 Quaranta & Zaffaroni

4 Pun

5 Kellner & Utz

و دعائی و صابرفرد<sup>۱</sup> (۱۴۰۰) فرموله شده و توسعه یافته است. به منظور حل مساله در ابعاد دنیای واقعی، از الگوریتم‌های فراابتکاری استفاده شده که علاوه بر سرعت حل بالا، می‌توانند نتایج قابل قبولی را نیز ارائه دهند.

در ادامه ساختار مقاله بدین صورت است که در بخش دوم به بررسی مرور ادبیات پژوهش پرداخته می‌شود. سپس بیان مساله و تشریح مدل ریاضی در بخش سوم بیان خواهد شد. در بخش چهارم نتایج عددی تشریح شده و تجزیه و تحلیل کمی صورت خواهد گرفت. در نهایت در بخش پنجم به جمع‌بندی و نتیجه‌گیری پرداخته شده و پیشنهادات آتی ارائه می‌شود.

## ۲- ادبیات موضوع

مساله مدیریت سرمایه‌گذاری همواره به عنوان یکی از مهمترین معیارهای توسعه اقتصادی در هر جامعه‌ای مورد توجه قرار گرفته است (توامی<sup>۲</sup>، ۲۰۰۲). این موضوع دارای مزیت‌های اساسی شامل ایجاد اشتغال پایدار، توسعه صنعت و افزایش تولید ناخالص ملی، کاهش وابستگی به صنایع وارداتی، توسعه صادرات و ارزآوری و همچنین ایجاد بستر مناسب به منظور توسعه سایر بخش‌های خدماتی است (آلکوت و کنیستون<sup>۳</sup>، ۲۰۱۷). اما بررسی این مساله و رسیدن به اهداف آرمانی آن دارای ابعاد بسیار گسترده‌ای بوده و نمی‌توان با نگاهی کوتاه مدت به اهداف مدنظر دست یافت. این مساله توسط محققان زیادی مورد بررسی قرار گرفته که در ادامه به آنها اشاره خواهد شد.

وکیلی فرد و همکاران<sup>۴</sup> (۱۳۹۳) مدلی جهت پیش‌بینی ورشکستگی با استفاده از سیستم استنتاج فازی عصبی انطباق‌پذیر ارائه دادند. جامعه آماری برای انجام پژوهش، شرکت‌های پذیرفته شده در بورس اوراق بهادار تهران در دوره زمانی ۱۳۸۰ تا ۱۳۸۹ بوده که با توجه به ماده ۱۴۱ قانون تجارت، شامل ۴۰ شرکت ورشکسته و ۴۰ شرکت غیر-ورشکسته می‌باشد. این شرکت‌ها به طور تصادفی به سه مجموعه تقسیم شدند: مجموعه آموزش جهت طراحی مدل، مجموعه آزمایش و مجموعه واری جهت اعتبارسنجی مدل. نسبت‌های مالی این شرکت‌ها در سال قبل از ورشکستگی به عنوان متغیرهای

<sup>1</sup> Doae & Saberfard (2021)

<sup>2</sup> Thoumi

<sup>3</sup> Allcott & Keniston

<sup>4</sup> Vakilifard et al. (2014)

ورودی مدل در نظر گرفته شد. مدل طراحی شده ورشکستگی را با دقت ۸۳.۷۵ درصد یک سال پیش از وقوع آن پیش‌بینی نمود. بنابراین می‌توان نتیجه گرفت که سیستم استنتاج فازی عصبی انطباق‌پذیر ابزاری مناسب برای پیش‌بینی در ماندگی مالی شرکت‌های پذیرفته شده در بورس اوراق بهادار تهران است.

رامتین‌نیا و عطرچی<sup>۱</sup> (۱۳۹۷) با استفاده از رویکرد حداقل‌سازی ریسک دارایی‌های مالی با قید بیشترین مقدار بازدهی بر اساس رویکرد ارزش در معرض ریسک مشروط و الگوی الگوریتم تکامل تفاضلی به بهینه‌سازی بازدهی شاخص ۱۰ شرکت برتر بورس اوراق بهادار تهران در طی دوره ۱۳۹۰ تا ۱۳۹۴ به صورت ماهانه پرداخته شده است. نتایج نشان داد که رویکرد تکامل تفاضلی با استفاده از ارزش در معرض ریسک مشروط نسبت به رویکرد ساده در الگوریتم تصادفی دارای نسبت شارپ و نسبت بازدهی به مقدار ارزش در معرض ریسک مشروط بهتر بوده و در بررسی نتایج پس‌آزمایی با رویکرد ماهانه نیز معیارهای انتخاب سبد دارایی بهینه در این روش، نسبت به رویکرد الگوریتم تصادفی دارای شرایط مناسب‌تری است.

شیدائی و همکاران<sup>۲</sup> (۱۳۹۹) قابلیت راهبرد ماتریس شبکه و مدل فازی عصبی ژنتیک در بهینه‌سازی سبد سهام را بررسی کردند. با بکارگیری یک مدل ترکیبی شبکه‌های عصبی و نظریه استدلال فازی همراه با الگوریتم ژنتیک به منظور وزن‌دهی عامل‌های موثر در بهینه‌سازی در بین سال‌های ۱۳۹۱ تا ۱۳۹۸ به این نتیجه رسیدند که سیستم آنها از توانایی لازم برای بهینه‌سازی سبد سهام برخوردار است.

دعائی و صابرفرد (۱۴۰۰) با استفاده از دو تابع هدف کمینه‌سازی ریسک و بیشینه‌سازی بازده و شرایط عدم قطعیت موجود در پارامترهای مدل، از رویکرد محدودیت‌ها شانس‌ی استفاده کردند. آنها بر اساس روش برنامه‌ریزی آرمانی جهت حل مساله در حالت دوهدفه از روش محدودیت اپسیلون تقویت شده استفاده کردند. مطابق با نتایج عددی می‌توان مشاهده نمودند که حل مساله در حالت دوهدفه قادر به تولید پاسخ‌های پارتویی بوده که در یک ساختار مناسب یکدیگر را مغلوب نمی‌کنند. همچنین در حالت عدم قطعیت استفاده از برنامه‌ریزی آرمانی باعث حصول پاسخ‌های عددی با سطح

<sup>1</sup> Ramtinnia & Atrche (2018)

<sup>2</sup> Shydaei et al. (2020)

عملکرد مناسب است و خروجی‌هایی منطبق با واقعیت می‌شود. در حقیقت خروجی‌های مساله در هر دو حالت چندهدفه و تک هدفه قابلیت پیاده‌سازی در شرایط دنیای واقعی را دارد.

طزرجان و همکاران<sup>۱</sup> (۱۴۰۰) مدل ترکیبی ارائه دادند که در آن ابتدا قیمت پایانی سهام برای روز بعد بر مبنای الگوریتم سیستم استنتاج عصبی فازی سازگار و شبکه عصبی بازگشتی با استفاده از داده‌های تاریخی و شاخص‌های اندیکاتور پیش‌بینی می‌شود. سپس نتایج به همراه وضعیت شایعات بازار به سیستم خبره فازی وارد می‌شود و پیش‌بینی را بر مبنای خروجی سیستم عصبی فازی و شبکه عصبی بازگشتی به همراه وضعیت شایعات بازار، نهایی می‌کند. مدل ترکیبی ارائه شده برای پیش‌بینی قیمت داده‌های سهام شرکت فولاد مبارکه اصفهان اجرا شد.

لی‌رویو همکاران<sup>۲</sup> (۲۰۱۵) در پژوهش خود با به‌کارگیری تکنیک برنامه‌ریزی آرمانی و فرمول تیلور، روش جدیدی را برای حل مسائل برنامه‌ریزی ساختار مالی شرکت‌های کوچک ارائه نمودند. آن‌ها یک الگوریتم حل جدید پیشنهاد دادند که نتایج حاصله، بیانگر کارا بودن الگوریتم پیشنهادی است.

گنگ و همکاران<sup>۳</sup> (۲۰۱۶) به بررسی نقش دولت در تأمین مالی پروژه‌های توسعه صنعتی به منظور حمایت از کارخانجات داخلی سنگاپور پرداختند. طبق نتایج پژوهش آن‌ها، دولت در کنار وزارت انرژی و صنعت می‌تواند با الزامات و حمایت‌های مالی و قانونی مناسب در جریان رفع موانع تولید مؤثر واقع شود. در این راستا نقش دولت در حمایت و پشتیبانی و تأمین منابع درآمدی پروژه‌های صنعتی بسیار وسیع است. زیرا دستگاه تنظیم سرفصل‌ها و ردیف‌های بودجه سالیانه کل سنگاپور و تعیین‌کننده سهم هر یک از نهادها است. بنابراین می‌تواند سهم عمده‌ای در جلب سرمایه‌گذاران خصوصی و حمایت به شکل کمک‌های بلاعوض، قوانین مالیاتی ترجیحی مشارکت در سهام یا بدهی یا تضمین‌های دولتی نقش مهمی ایفا کند.

<sup>1</sup> Tazarjan et al. (2020)

<sup>2</sup> Leroy et al.

<sup>3</sup> Geng et al.

جمیل و همکاران<sup>۱</sup> (۲۰۱۶). ابتدا مهم‌ترین روش‌های تأمین مالی برای توسعه صنعتی کشورهای حوزه خلیج فارس و عمده معیارهای تأثیرگذار برای انتخاب روش تأمین مالی مناسب، از طریق مطالعات کتابخانه‌ای میدانی استخراج شده است. سپس از طریق پرسشنامه و بر اساس روش تحلیل سلسله مراتبی، وزن‌های نسبی معیارهای تأثیرگذار و وزن‌های نسبی روش‌های تأمین مالی نسبت به هر کدام از معیارها و در نهایت، رتبه‌بندی روش‌های تأمین مالی بکار رفته در پژوهش حاضر، حاصل شد. بر اساس نتایج پژوهش، با اهمیت‌ترین معیارها از دید کارشناسان مالی و سرمایه‌گذاری، معیارهای نرخ بازده بیشتر، مشارکت بیشتر بخش خصوصی و سقف تأمین وجوه بیشتر با وزن‌های نسبی ۰.۲۸۹، ۰.۲۵۹ و ۰.۲۲۳ بوده است. از بین روش‌های تأمین مالی عنوان‌شده، نتایج پژوهش دو روش اوراق مشارکت و سرمایه‌گذاری بخش خصوصی با وزن‌های نهایی به ترتیب ۰.۳۲۳ و ۰.۲۳۵ توصیه‌شده و سه روش سهامدار پروژه، اخذ تسهیلات از بانک و وزن‌های نهایی کمتری به دست آورده‌اند.

واندفلو و همکاران<sup>۲</sup> (۲۰۱۶) در پژوهشی به تعیین وضعیت انواع مشوق‌های مالی در زنجیره تأمین پرداختند. جهت شناسایی تأثیرات مربوطه با مراجعه به اسناد، بهبودهای حاصله از اعطای تسهیلات به واحدهای درگیر در سال‌های اخیر استخراج شده است. بدین منظور، پرسشنامه‌ای بر اساس متغیرهای موردنظر تهیه و در اختیار ۵۰ نفر از مدیران و کارشناسان بخش‌های مختلف پروژه قرار گرفت. نتایج به‌دست‌آمده نشان می‌دهد که در واگذاری مشوق‌های مالی برخی مشکلات مانند وجود ریسک‌های متعدد مشکل‌آفرین است که در بین این، مهم‌ترین آن‌ها عبارت‌اند از: ریسک‌های مالی و اقتصادی، فنی، اجتماعی، سیاسی و زیست‌محیطی، پس از تجزیه و تحلیل وزن‌ها، بیشترین تأثیر ریسک مربوط به ریسک مالی و اقتصادی با میانگین ۴.۱۸، و در رتبه‌های بعدی، به ترتیب ریسک اجتماعی ۳.۰۵، ریسک فنی ۲.۷۷، ریسک سیاسی ۲.۶۴، و ریسک زیست‌محیطی ۲.۳۶ است. بنابراین ریسک مالی اقتصادی دارای بیشترین میزان اثرگذاری و ریسک زیست‌محیطی دارای کمترین میزان ریسک در اجرای مناسب طراح‌های واگذاری مشوق‌های مالی مربوطه است. وست و باند<sup>۳</sup> (۲۰۱۶) به بررسی روش و

<sup>1</sup> Jamil et al.

<sup>2</sup> Wandfluh et al.

<sup>3</sup> West & Banda

قاعده تخصیص ریسک در اعطای مشوق‌های مالی به واحدهای صنعتی پرداختند. آن‌ها تأمین مالی بنگاه‌های تولیدی را یک تعهد تقسیم دانسته و معتقدند در صورت تعارض در این قرارداد، تخصیص نامناسب ریسک روی خواهد داد. شارما و همکاران<sup>۱</sup> (۲۰۱۷) به توسعه یک مدل جهت انتخاب استراتژی واگذاری مشوق‌های مالی به شرکت‌های فعال در حوزه انرژی با ادغام شبکه عصبی مصنوعی و روش‌های تجزیه و تحلیل تصمیم چندمعیاره تحلیل پوششی داده‌ها و فرآیند تحلیل شبکه پرداختند. این رویکرد به‌عنوان روش ANN-MADA معرفی می‌شود؛ به‌طوری‌که علاوه بر معیارهای سنتی توسعه انرژی، مقررات زیست‌محیطی را نیز در نظر می‌گیرد. در نهایت نتایج ارزیابی مدل نشان داد رویکرد پیشنهادشده عملکرد بهتری در ارزیابی روش‌های تأمین نسبت به دو روش ANN-DEA و AHP-DEA دارد.

دعائی و همکاران (۲۰۱۷) از روش ANN-DEA به بررسی رابطه تنوع شرکتی و کارایی شرکت‌های پذیرفته شده در بورس اوراق بهادار تهران پرداختند. نتایج آن مطالعه نشان می‌دهد که بین تنوع کل محصول و کارایی رابطه منفی وجود دارد و تنوع بین‌المللی بر کارایی اثر غیرخطی دارد.

اونیانگوف<sup>۲</sup> (۲۰۱۸) به بررسی روش‌های مرسوم تأمین مالی برای کارخانجات ورشکسته اروپا و کاوش برای یافتن روش یا روش‌های مناسب تأمین مالی در وضع موجود و آینده نزدیک، با مشارکت کلیه گروه‌های درگیر (سازندگان، تأمین‌کنندگان اعتبار، سیاست‌گذاران و برنامه‌ریزان مربوطه) در این خصوص بوده است. روش پژوهش کیفی و متکی بر مصاحبه‌های عمیق با استفاده از نظریه بنیادی بوده است؛ ضمن آنکه از روش‌های کمی در بخش اول مطالعه برای تعیین وضعیت موجود روش‌های تأمین مالی در سیستم تولیدی و از مطالعات اسنادی در بررسی تجارب نوین تأمین مالی کارخانجات تولید محصولات دارویی و تجارب کشورهای نمونه (کره جنوبی، ترکیه، چین و مالزی) در تأمین مالی بنگاه‌های اقتصادی آسیب‌پذیر استفاده شده است. نتایج مطالعه نشان می‌دهند که گروه‌های مرجع، در خصوص مناسب بودن شش روش تأمین مالی در وضع موجود و آینده نزدیک برای تأمین مالی بنگاه‌های تولیدی، توافق دارند.

<sup>1</sup> Sharma et al.

<sup>2</sup> Onyango



تاملینسون و روبرت برنستون<sup>۱</sup> (۲۰۱۸) در پژوهشی با رویکردی توصیفی-تحلیلی، از طریق مطالعات میدانی و کتابخانه‌ای و با استفاده از مدل تحلیل استراتژیک SWOT و با بهره‌گیری از نرم‌افزار SPSS به بررسی و تجزیه و تحلیل وضع موجود سیستم‌های تولیدی ورشکسته اروپا پرداخته است. جامعه آماری مورد مطالعه در این پژوهش کارخانجات درگیر با بخش دولتی جهت دریافت حمایت‌های مالیاتی به منظور افزایش توان تولید در ۱۰ کشور اروپای شرقی انتخاب شده است. برای تکمیل مدل سوات از نظر نخبگان و کارشناسان درگیر در امور بین‌الملل سازمان اقتصادی ملی اتریش استفاده شده است. نتایج حاصل نشان می‌دهد که علاقه‌مندی صاحبان صنایع جهت بروزرسانی سیستم تولید و وجود گروه‌های کم‌درآمد اقتصادی به ترتیب از مهم‌ترین نقاط قوت و ضعف، بالا بودن میزان مشارکت بخش خصوصی و وجود قوانین مالیاتی پیچیده از مهم‌ترین نقاط فرصت و تهدید است.

اوگانتوی و همکاران<sup>۲</sup> (۲۰۱۹) در پژوهش خود شش شیوه تأمین مالی مناسب برای بازسازی کارخانجات ورشکسته در آفریقای جنوبی با استفاده از سه شاخص مشارکت، سهولت اجرایی و بازدهی اقتصادی طرح مورد ارزیابی قرار گرفته است. جهت اولویت‌بندی روش‌ها بر اساس هر یک از این شاخص‌ها از آزمون فریدمن و نرخ بازدهی داخلی استفاده شد و تحلیل داده‌ها توسط نرم‌افزارهای SPSS و CAMFAR صورت گرفته است. با توجه به نتایج به دست آمده از تحلیل داده‌های پژوهش سطح مشارکت بخش خصوصی از مقبولیت نسبی برخوردار است. روش مشارکت میدانی در بین روش‌های تأمین مالی موردنظر از بیشترین سطح مشارکت بخش خصوصی برخوردار است و در رتبه‌های بعدی به ترتیب دریافت تسهیلات بانکی، سهامدار پروژه، روش فروش اوراق مشارکت قرار دارد. از نظر مدیران شهری شیوه استفاده از سرمایه‌گذاری مشترک بخش دولتی با خصوصی در حال حاضر بهترین شیوه از نظر سهولت در اجراست. روش‌های اوراق مشارکت و سایر روش‌ها در رتبه‌های بعدی از نقطه نظر اجرایی قرار دارند. روش انتشار اوراق مشارکت با بیشترین نرخ بازدهی داخلی، بهترین روش تأمین مالی است. در جدول ۱، خلاصه‌ای از پژوهش‌های مرتبط ارائه می‌شود.

<sup>۱</sup> Tomlinson & Branston

<sup>۲</sup> Oguntoye et al.

دعائی و همکاران (۲۰۲۰) مدل پیش‌بینی شاخص کل بورس تهران از طریق شبکه‌های عصبی ترکیبی پرسپترون چندلایه و الگوریتم‌های فراابتکاری متشکل از الگوریتم ژنتیک، بهینه‌سازی ازدحام ذرات، سیاه‌چاله، الگوریتم بهینه‌سازی ملخ و بهینه‌سازی گرگ خاکستری ارائه دادند. آنها ۱۸ شاخص فنی را بر اساس شاخص کل به عنوان پارامترهای ورودی استخراج کردند. نتایج تجربی نشان داد که بهینه‌سازی گرگ خاکستری عملکرد برتری برای آموزش برای پیش‌بینی بازار سهام بر مبنای الگوریتم‌های فراابتکاری دارد.

با توجه به مرور ادبیات پژوهش می‌توان مهمترین نوآوری‌های این پژوهش را شامل موارد زیر در نظر گرفت.

- ✓ در نظر گرفتن شرایط عدم قطعیت و استفاده از برنامه‌ریزی تصادفی جهت کنترل سطح عدم قطعیت در تخمین پارامترهای ریسک و بازده
- ✓ استفاده از محدودیت شانس و تحلیل حساسیت مساله نسبت به تغییرات پارامتر احتمال وقوع
- ✓ توسعه الگوریتم فراابتکاری گرگ خاکستری در حل مساله پژوهش به عنوان یک الگوریتم مبتنی بر جمعیت جدید
- ✓ تحلیل آماری عملکرد الگوریتم‌های پیشنهادی با استفاده از مدل‌های ناپارامتریک

### ۳- طراحی الگوی مدل

#### ۳-۱- نمونه آماری، متغیرها و مدل

بر اساس گزارش آماری مرکز پژوهش، توسعه و مطالعات اسلامی سازمان بورس و اوراق بهادار، کل شرکت‌های پذیرفته شده در بورس اوراق بهادار تهران (بازار اول و دوم) و فرابورس ایران (بازار اول، دوم و پایه) در انتهای سال ۱۳۹۷ برابر ۵۹۹ شرکت می‌باشند، در این پژوهش شرکت‌هایی که از فروردین سال ۱۳۹۷ تا ۳۰ آذر ۱۴۰۰ در بورس اوراق بهادار تهران و فرابورس ایران حضور داشته‌اند و وقفه معاملاتی بیش از ۳ ماه نداشته باشند به عنوان نمونه آماری در نظر گرفته شده است. لذا نمونه مورد نظر برابر ۴۹۱ شرکت می‌باشد.

داده‌های مورد نیاز برای انجام پژوهش حاضر، شامل ریسک و بازده سرمایه‌گذاری در شرکت‌های مورد مطالعه می‌باشد. جهت محاسبه این پارامترهای باید از داده‌های

تاریخی موجود در وبگاه مرکز پژوهش، توسعه و مطالعات اسلامی، سازمان بورس و اوراق بهادار<sup>۱</sup> استفاده کرد که در آن اطلاعات مربوط به قیمت تعدیل شده با افزایش سرمایه برای ۴۹۱ شرکت مورد بررسی از تاریخ ۵ فروردین ۱۳۹۷ تا ۳۰ آذر ۱۴۰۰ به صورت روزانه قابل دسترس است. مدل این پژوهش بر اساس کلنر و یوتز<sup>۲</sup> (۲۰۱۹) و دعائی و صابرفرد (۱۴۰۰) توسعه یافته و فرموله شده است. لذا جهت محاسبه بازده ابتدا بازده روزانه شرکت اندازه‌گیری شده و سپس فرض می‌شود که بازده سالانه شرکت‌ها برابر با میانگین بازده روزانه است که با استفاده از میانگین هندسی محاسبه می‌شود. همچنین میزان ریسک از طریق انحراف معیار بازده در بازه‌های زمانی روزانه محاسبه شده است. فرآیند روش‌های تجزیه و تحلیل داده‌ها به ترتیب عبارت از انتخاب داده‌ها، پاک‌سازی و آماده‌سازی داده‌ها، تعیین تابع هدف، انتخاب سبد سهام بر اساس مدل ریاضی و بررسی شرایط عدم قطعیت است. به صورت کلی می‌توان ساختار کلی مدل پژوهش را به صورت زیر ارائه داد.

$x_i$ : مقدار سرمایه‌گذاری در  $i$ -امین شرکت،  $\beta_i$ : ریسک در  $i$ -امین شرکت،  $r_i$ : بازده در  $i$ -امین شرکت و  $U_i$ : حداکثر مقدار بودجه در دسترس برای  $i$ -امین شرکت.

$$\text{Min } \sum_{i=1} \beta_i x_i \quad (1)$$

$$\text{Max } \sum_{i=1} r_i x_i$$

s. t.

$$\sum_{i=1} x_i = 1 \quad 0 \leq x_i \leq U_i \quad (2)$$

تابع هدف اول به کمینه‌سازی میزان ریسک پرداخته و تابع هدف دوم میزان بازده را بیشینه می‌نماید. محدودیت (۳) تضمین می‌کند که مجموع سهم سهام خریداری شده از تمام شرکت‌های موجود در بازار، برابر با ۱ باشد. محدودیت (۴) نیز تضمین می‌کند که درصد خرید سهام از هر شرکت محدود به مقدار از پیش تعیین شده است. به منظور برخورد با شرایط عدم قطعیت پارامترهای ریسک و بازده، مدل مساله در شرایط عدم قطعیت با استفاده از محدودیت‌های شانس فرموله می‌شود. بنابراین مدل زیر ارائه می‌شود.

$$\text{Min } E[f(x, w) + Q(x, w)] \quad (3)$$

<sup>1</sup> www.rdis.ir

<sup>2</sup> Kellner & Utz

s. t.

$$x \in X$$

که در آن E برابر با ارزش انتظاری و Q به عنوان تابع جریمه وارد مدل می‌شود تا تضمین کند که در نهایت پاسخ‌های حاصله به صورت بهینه خواهد بود. قابل به ذکر است که E برگرفته از پژوهش کال و وانس<sup>۱</sup> (۱۹۹۵) و Q برگرفته از پژوهش واکاپ و وتز<sup>۲</sup> (۱۹۶۷) است. لذا با استفاده از نظریه ارائه شده در مسمودی و عبدالعزیز<sup>۳</sup> (۲۰۱۷) می‌توان مدل نهایی پژوهش را به صورت زیر تشریح نمود.

$$\text{Min } \delta^+ + \delta^- + \varepsilon$$

s. t

$$R_0 - \sum_{i=1}^n \bar{r}_i x_i - \frac{\varepsilon}{q} + \varphi^{-1}(\alpha) \sum_{i=1}^n \sigma_i x_i \leq 0$$

$$\sum_{i=1}^n \beta_i x_i + \delta^+ - \delta^- = 1$$

$$\sum_{i=1}^n x_i = 1$$

$$0 \leq x_i \leq u_i$$

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

$$\delta^- \geq 0, \delta^+ \geq 0, \varepsilon \geq 0$$

(۴)

که در آن  $\delta^+$  و  $\delta^-$  به عنوان متغیرهای اضافی جهت کنترل سطح شدنی بودن محدودیت ۹ تعریف شدند. همچنین  $R_0$  یک مقدار از پیش تعیین شده است که کل بازده باید از آن بزرگتر باشد.  $\varepsilon$  نیز به عنوان بدترین هزینه استرداد که سرمایه‌گذار از عهده پرداخت آن بر می‌آید تعریف می‌شود. اما  $q$  به عنوان هزینه قرض گرفتن پول برای پوشش ضرر عدم دستیابی به سطح مطلوب بازده  $R_0$  است. در نهایت  $\varphi^{-1}(\alpha)$  تابع توزیع احتمال توزیع نرمال استاندارد است. در نهایت مدل تصادفی با رویکرد محدودیت شانس به معادل خطی تبدیل شده و قابل حل به کمک حل‌کننده‌های خطی مانند Cplex است.

### ۲-۲- روش تجزیه و تحلیل

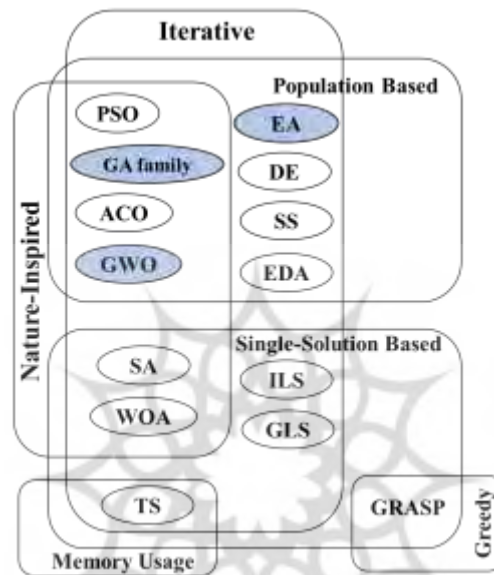
با توجه به اینکه استفاده از الگوریتم‌های فراابتکاری امروزه به عنوان یک ابزار قدرتمند در حل مسائل بهینه‌سازی مورد استفاده قرار می‌گیرد، در این پژوهش نیز جهت حل مساله و مقایسه کارایی آن‌ها مساله پژوهش در شرایط مختلف حل شده و نتایج عددی

<sup>1</sup> Kall & Wallace

<sup>2</sup> Walkup & Wets

<sup>3</sup> Masmoudi & Abdelaziz

مورد بررسی قرار می‌گیرد. یکی از موضوعات بسیار مهم در استفاده از الگوریتم‌های فراابتکاری، انتخاب مناسب آن‌ها با توجه به ماهیت و ساختار عملکردی در یافتن پاسخ-های نهایی است. در این پژوهش مطابق با دسته‌بندی ارائه شده در شکل ۱، الگوریتم-های مناسب جهت حل مساله انتخاب می‌شود.



شکل (۱): دسته‌بندی الگوریتم‌های فراابتکاری براساس ساختار طراحی و نحوه عملکرد

منبع: (Bozorg-Haddad, 2018)

مطابق با مرور ادبیات پژوهش، استفاده از الگوریتم‌های فراابتکاری مبتنی بر جمعیت، دارای سطح عملکرد مناسب‌تری نسبت به سایر الگوریتم‌های فراابتکاری هستند، بنابراین در این پژوهش نیز از این الگوریتم‌ها استفاده می‌شود. خانواده ژنتیک معمولاً در تمامی مسائل بهینه‌سازی دارای عملکرد مناسبی هستند و می‌توانند به عنوان یک معیار مقایسه‌ای خوب مورد استفاده قرار گیرند. در این خانواده، الگوریتم ژنتیک به عنوان شاخص‌ترین الگوریتم حل در تمام حوزه‌های بهینه‌سازی مطرح است. الگوریتم‌های مبتنی بر ساختارهای تکاملی نیز در اغلب مسائل بهینه‌سازی قادر به تولید پاسخ‌های مناسب هستند. اما در بین الگوریتم‌های ارائه شده در سال‌های اخیر، الگوریتم گرگ خاکستری دارای قدرت محاسباتی بسیار بالایی بوده و تقریباً در تمامی مسائلی که مورد

۲۶۶ ارائه رویکردی مبتنی بر بهینه‌سازی تصادفی به منظور حل مساله انتخاب سبد سهام...

استفاده قرار گرفته است، بر سایر الگوریتم‌ها برتری نسبی یا مطلق داشته که قادر است به صورت کاملاً مناسبی از فاز تنوع‌گرایی وارد فاز تمع‌گرایی شده و پاسخ‌های نهایی مناسبی را گزارش دهد. بنابراین در این پژوهش جهت حل مدل ریاضی، الگوریتم‌های ژنتیک و گرگ خاکستری مورد استفاده قرار خواهد گرفت.

باید توجه داشت که یکی از مهمترین مراحل طراحی الگوریتم‌های فراابتکاری، ذکر جزئیات مربوط به الگوریتم است که در ادامه به تشریح آن پرداخته خواهد شد. در این پژوهش از یک نمایش پاسخ پیوسته در یک ساختار یک بعدی مطابق زیر استفاده شده است.

۰/۱۷	۰/۰۵	...	۰/۲	۰/۴	۰/۲
------	------	-----	-----	-----	-----

تعداد خانه‌های آرایه برابر با تعداد شرکت‌های مورد مطالعه جهت خرید سهام بوده و اعداد داخل خانه‌ها بیانگر سهم خرید سهام از هر شرکت است. باید این تضمین وجود داشته باشد که مجموع اعداد تولید شده در خانه‌ها برابر با یک باشد که این مهم از طریق استانداردسازی میسر است. قابل توجه است که تعداد نسل‌ها در این تحقق برابر با ۲.۵ برابر طول کروموزم در نظر گرفته می‌شود. ساختار اجرای عملگر هم‌گذری بدین صورت است که دو والد به تصادفی انتخاب شده و سپس با استفاده از هم‌گذری دو نقطه‌ای دو فرزند جدید تولید شده و از برازندگی آن‌ها از برازندگی والدین بهتر باشد، در نسل بعدی جایگزین خواهند شد. برای جهت نیز دو خانه از آرایه به تصادفی انتخاب شده و اعداد داخل آن‌ها به یکدیگر جابجا می‌شود. بدین صورت ساختار اجرایی الگوریتم شکل می‌گیرد.

### ۳-۲-۱- معرفی الگوریتم‌ها

در این بخش به تشریح ساختار الگوریتم‌های پیشنهادی پرداخته می‌شود. اما قبل از ورود به توضیح الگوریتم‌های ژنتیک و گرگ خاکستری، مزایا و معایب استفاده از این دو الگوریتم ارائه می‌شود.

### ۳-۲-۱-۱- مزایا و معایب استفاده از الگوریتم‌های پیشنهادی پژوهش

بطور کلی الگوریتم‌های فراابتکاری یکی از ابزارهای قدرتمند در علم تحقیق در عملیات به منظور حل مدل‌های بهینه‌سازی است که محققان را قادر می‌سازد پاسخ‌هایی قابل قبول در زمان مناسب بدست آورند. اما استفاده از این نوع الگوریتم‌ها محدودیت‌هایی را

به وجود می‌آورد که مهمترین آن‌ها عدم تضمین در حصول پاسخ‌های بهینه سراسری است (هداوندی و همکاران، ۲۰۱۸). این درحالی است که بسیاری از مسائل بهینه‌سازی به دلیل داشتن ساختارهای ناچندجمله‌ای سخت قابلیت حل توسط حل‌کننده‌های تجاری را نداشته و یا مدت زمان حل آن به قدری زیاد است که توجیه اقتصادی ندارد. در این حالت، الگوریتم‌های فراابتکاری هستند که به عنوان تنها ابزار دردسترس مدنظر قرار می‌گیرند. الگوریتم‌های ژنتیک و گرگ خاکستری از رده الگوریتم‌های فراابتکاری مبتنی بر تکامل زیستی هستند که از طریق ایجاد جمعیت اولیه و بهبود کیفیت آن از طریق اعمال عملگرهای مختلف، سعی بر حصول پاسخ‌های باکیفیت در زمان مناسب دارند (فاروقی و همکاران، ۲۰۲۰). مهمترین مزیت‌های استفاده از الگوریتم‌های ژنتیک و گرگ خاکستری سهولت در کدنویسی، سرعت پردازش بالا و توانایی بالای آن‌ها در انتقال از فاز تنوع‌گرایی به فاز تعمق‌گرایی دانست که باعث می‌شود تمامی فضای پاسخ را در تکرارهای اولیه جستجو کرده و سپس در اطراف فضای پاسخ بهینه، به جستجوی پاسخ بهینه سراسری بپردازند (فاروقی و همکاران، ۲۰۱۷). اما مانند سایر الگوریتم‌های فراابتکاری، ژنتیک و گرگ خاکستری دارای محدودیت‌ها و معایب خاص خود بوده که از آن جمله می‌توان به عدم داشتن توانایی کافی در جستجوی پاسخ‌های همسایه و همچنین وابستگی بالای آن‌ها به پارامترهای تنظیم‌کننده توسط اپراتور اشاره نمود. با این حال براساس ادبیات موضوعی، الگوریتم‌های پیشنهادی دارای بالاترین کارایی نسبت به سایر الگوریتم‌های موجود هستند.

### ۳-۲-۱-۲- الگوریتم ژنتیک

ساختار الگوریتم ژنتیک بدین صورت است که در ابتدا به طور تصادفی مجموعه‌ای از راه‌حل‌ها برای مسئله تولید می‌شوند. این مجموعه راه‌حل را جمعیت (یا نسل) اولیه و هر عضو آن که در واقع یک راه‌حل است را یک کروموزوم می‌نامند. در هر تکرار الگوریتم ژنتیک، مجموعه‌ای از راه‌حل‌های جدید که فرزندان نامیده می‌شوند با استفاده از اعمال عملگرهای ژنتیک بر روی کروموزوم‌های نسل فعلی (والدین) تولید می‌شوند. این عملگرها به دو گروه عمده عملگر هم‌گذری و عملگر جهش تقسیم می‌شوند. نسل جدید با استفاده از عملگر انتخاب از میان والدین و فرزندان نسل فعلی انتخاب می‌شوند. عملگر انتخاب به گونه‌ای اعمال می‌شود که شانس بقای کروموزوم‌هایی که دارای تابع

برازندگی بیشتری هستند، بیشتر باشد. در حلقه اصلی الگوریتم ژنتیک، تولید نسل‌های جدید تا رسیدن به معیار توقف ادامه می‌یابد و در نهایت بهترین کروموزوم در آخرین نسل به عنوان راه‌حل منتخب، ارائه می‌شود. نحوه نمایش راه‌حل و نحوه پیاده‌سازی عملگرهای ژنتیکی، دو مقوله مهم در طراحی الگوریتم ژنتیک می‌باشند که در ادامه تشریح می‌شوند.

### عملگرهای الگوریتم ژنتیک

همگذری و جهش، عملگرهای اصلی الگوریتم ژنتیک برای تولید فرزندان می‌باشند. همگذری فرآیندی است که در آن، با ترکیب اطلاعات دو والد، یک (یا چند) راه-حل جدید به عنوان فرزند، تولید می‌شوند. در پژوهش ارائه شده، همگذری به عنوان عملگر اصلی و جهش به عنوان دومین عملگر اعمال خواهد شد. عملگر همگذری مورد استفاده از نوع دو نقطه برش است. عملگر جهش نیز از طریق انتخاب چند ژن از کروموزوم و تعویض مقادیر آنها، اعمال می‌شود. پس از این مرحله، عملگر جایگزینی اعمال می‌شود. هدف از جایگزینی، انتخاب والدین شایسته در هر نسل برای حضور در نسل آینده است. به عبارت دیگر هدف از استراتژی جایگزینی، تولید نسلی جدید است که از منظر برازندگی از متوسط نسل فعلی بهتر است. در این پژوهش برای عمل جایگزینی از استراتژی نمونه تصادفی باقی‌مانده بدون جایگزینی استفاده می‌شود.

**Input:** fitness function, max iteration, Population size, Crossover rate, Mutation rate

**Output:** The elitist

Set number of Districts equal to maximum number of possible Districts which is equal to number of Cities

Initialize a population randomly

Calculate the fitness of population and find elite

For  $i \in \text{Cities}$

District =  $i$

$t = 0$

**While**  $t \leq T$  **do**

Perform crossover using two-point crossover operator

Perform Mutation

Carryout the replacement strategy and evaluate

Calculate the fitness and return elite

**End**

Pareto\_front( $i$ )  $\leftarrow$  elite



**End**  
**Return Pareto front**

شبه کدا: الگوریتم ژنتیک

### ۳-۲-۱-۳- الگوریتم گرگ خاکستری

الگوریتم گرگ خاکستری نخستین بار توسط میرجلیلی (۲۰۱۴) ابداع شده است. در این الگوریتم در هر تکرار الگوریتم بهترین جواب به عنوان  $\alpha$  در نظر گرفته می‌شود. متعاقباً، دومین و سومین جواب بهتر،  $\beta$ ،  $\delta$  نامیده می‌شوند. بقیه جواب‌های نامزد، امگا فرض می‌شوند. در الگوریتم GWO، شکار (بهینه‌سازی) به وسیله  $\alpha$ ،  $\beta$ ،  $\delta$  هدایت می‌شود. گرگ‌های  $\omega$  از این سه گرگ پیروی می‌کنند.

#### محاصره طعمه

گرگ‌های خاکستری طعمه را در طول شکار محاصره می‌کنند. به منظور مدل‌سازی ریاضی رفتار محاصره‌ای عبارات ذیل در نظر گرفته شده‌اند.

$$\vec{X}(t+1) = \vec{X}_p(t) + \vec{A} \cdot \vec{D}, \quad (5)$$

$$\vec{D} = |\vec{C} \cdot \vec{X}_p(t) - \vec{X}(t)|, \quad (6)$$

$$\vec{A} = 2\vec{a} \cdot \vec{r}_1 - \vec{a}, \quad (7)$$

$$\vec{C} = 2 \cdot \vec{r}_2, \quad (8)$$

که در آن  $t$  نشان دهنده تکرار کنونی است.  $(\vec{A})$  و  $(\vec{C})$  بردارهای ضرایب هستند.  $(\vec{X}(t))$  و  $(\vec{X}_p(t))$  به ترتیب بردار موقعیت شکار و بردار موقعیت گرگ است.  $(\vec{a})$  به صورت خطی از ۲ به ۰ کاهش می‌یابد.  $(\vec{r}_1)$  و  $(\vec{r}_2)$  بردارهای تصادفی در  $[0, 1]$  هستند.

#### شکار

گرگ خاکستری این توانایی را دارد که محل شکار را شناسایی و آن را محاصره نماید. شکار معمولاً به وسیله‌ی آلفا هدایت می‌شود. بتا و دلتا نیز ممکن است گاهی اوقات در شکار شرکت کنند. اما، در یک فضای گسسته جستجو هیچ ایده‌ای در مورد محل بهینه (طعمه) وجود ندارد. به منظور شبیه‌سازی ریاضی رفتار شکار گرگ خاکستری، فرض می‌شود که آلفا (بهترین جواب از بین جواب‌های موجود)، بتا و دلتا از محل شکار اطلاع بهتری دارند. بنابراین، ۳ جواب بهتر به دست آمده ذخیره می‌شوند و عامل‌های دیگر

جستجو (از جمله امگا) مجبور می‌شوند تا موقعیت خود را مطابق با موقعیت بهترین عامل جستجو به‌روزرسانی کنند. از این رو معادلات زیر ارائه شده‌اند.

$$\vec{D}_\alpha = |\vec{C}_1 \cdot \vec{X}_\alpha - \vec{X}|, \quad (9)$$

$$\vec{D}_\beta = |\vec{C}_2 \cdot \vec{X}_\beta - \vec{X}|, \quad (10)$$

$$\vec{D}_\delta = |\vec{C}_3 \cdot \vec{X}_\delta - \vec{X}|, \quad (11)$$

$$\vec{X}_2 = \vec{X}_\beta - \vec{A}_2 \cdot (\vec{D}_\beta), \quad (12)$$

$$\vec{X}_3 = \vec{X}_\delta - \vec{A}_3 \cdot (\vec{D}_\delta), \quad (13)$$

$$\vec{X}(t+1) = \frac{\vec{X}_1 + \vec{X}_2 + \vec{X}_3}{3}. \quad (14)$$

#### حمله به شکار<sup>۱</sup>

گرگ خاکستری زمانی که شکار متوقف شد به آن حمله می‌کند. بنابراین مقدار  $\vec{a}$  کاهش می‌یابد. محدوده نوسان ( $\vec{A}$ ) نیز کاهش می‌یابد. ( $\vec{A}$ ) یک مقدار تصادفی در  $[-2a, 2a]$  است که  $a$  از ۲ تا ۰ در طی تکرارهایی کاهش می‌یابد. به عبارت دیگر، الگوریتم اجازه می‌دهد که عامل‌های جستجو موقعیت خود را با توجه به موقعیت آلفا، بتا و دلتا به‌روزرسانی کنند.

#### جستجوی شکار<sup>۲</sup>

گرگ خاکستری به‌طور عمدی مطابق با موقعیت آلفا، بتا و دلتا جستجو انجام می‌دهد. آن‌ها به‌صورت جدا از هم به جستجو برای شکار می‌پردازند و با هم به شکار حمله می‌کنند. ( $\vec{A}$ ) با مقدار تصادفی بزرگتر از (۱) یا کمتر از (-۱) استفاده می‌شود. به عبارت دیگر، به اکتشاف الگوریتم کمک می‌کند. ( $\vec{C}$ ) شامل مقادیر تصادفی در  $[0 - 2]$  و یکی دیگر از عناصر اکتشاف است. این عنصر، وزن‌های تصادفی برای شکار جهت تأکید بر ( $C > 1$ ) و یا غیرمهم شمردن ( $C < 1$ ) تأثیر شکار در تعیین فاصله در معادلات فوق را نشان می‌دهد. بردار ( $C$ ) همچنین به عنوان اثر موانع در شکار نزدیک در طبیعت در نظر گرفته می‌شود.

<sup>1</sup> exploitation

<sup>2</sup> exploration

**Input:**  $\left\{ \begin{array}{l} (n) \text{ Number of gray wolves in the pack} \\ (N_{Iter}) \text{ Number of iterations for optimization} \end{array} \right.$

**Output:**  $\left\{ \begin{array}{l} (X_{\alpha}) \text{ Optimal gray wolf position} \\ f(X_{\alpha}) \text{ Best fitness value} \end{array} \right.$

Initialize a population of  $n$  gray wolves positions randomly.  
 Find the  $(\alpha)$ ,  $(\beta)$  and  $(\delta)$  solutions based on their fitness values.  
**While** Stopping criteria not met **Do**  
**For each**  $Wolf_i \in \text{pack}$  **do**  
 Update current wolf's position according to equation (25)  
**End**  
**I.** Update  $a$ ,  $A$ , and  $C$ .  
**II.** Evaluate the positions of individual wolves.  
**III.** Update  $(\alpha)$ ,  $(\beta)$  and  $(\delta)$   
**End**

شبه کد ۲: الگوریتم بهینه سازی گرگ خاکستری

باید توجه داشت که در استفاده از الگوریتم‌های فراابتکاری تضمینی در حصول پاسخ‌های موجه به صورت صددرصد وجود ندارد و نیاز است که از طریق کنترل آرایه‌های عددی، همواره پاسخ‌های موجه تولید نمود. بنابراین معیار مقایسه الگوریتم‌های پیشنهادی با یکدیگر، در تعداد شرکت‌های انتخاب شده برای سرمایه‌گذاری و همچنین درصد پاسخ-های ناموجه تولید شده در هر تکرار الگوریتم است.

#### ۴- یافته‌های تحقیق

در این بخش به منظور مشخص شدن عملکرد مدل‌های ارائه شده تعدادی مثال عددی طراحی و نتایج حاصل از حل مدل مورد بررسی قرار می‌گیرد. با توجه به اینکه در ادبیات الگوریتم‌های مختلفی مورد استفاده قرار گرفته است، در این پژوهش از الگوریتم ژنتیک به عنوان یک روش شناخته شده و از الگوریتم گرگ خاکستری به عنوان یک الگوریتم جدید استفاده شود تا دامنه بررسی مساله از دیدگاه روش نیز تقویت گردد. قابل ذکر است که تمامی مثال‌های عددی در سیستمی با قدرت پردازندگی  $3.6GHz$  و همچنین حافظه تصادفی در دسترس  $16GB$  به کمک سیستم عامل ویندوز ۱۰ در محیط نرم‌افزار MATLAB حل شده‌است.

در این پژوهش به منظور بررسی صحت عملکرد الگوریتم‌های پیشنهادی مثال‌های عددی مختلف منطبق بر شرایط دنیای واقعی که برگرفته از اطلاعات موجود برای ۴۹۱

شرکت پذیرفته شده در بورس اوراق بهادار تهران و فرابورس ایران است، تشریح شده و نتایج عددی مورد تجزیه و تحلیل قرار می‌گیرد. اطلاعات قیمت شرکت‌ها از وبگاه مرکز پژوهش، توسعه و مطالعات اسلامی سازمان بورس و اوراق بهادار گرفته شده است. لازم به ذکر است اطلاعات قیمت شرکت‌ها در آن سایت، بر اساس افزایش سرمایه و سود نقدی تعدیل شده و به عنوان شاخص قیمت مد نظر قرار گرفته است. بنابراین نیاز است که از طریق رابطه زیر بازده هر یک شرکت در هر بازه زمانی را محاسبه نمود.

$$Return_t = \left( \frac{A_t}{A_{t-1}} - 1 \right) \times 100 \quad (15)$$

که در آن  $A_t$  معرف شاخص قیمت تعدیل شده با افزایش سرمایه و سود نقدی در سال  $t$  است. اما این عدد برای هر بازه زمانی بوده و نیاز است که برای هر شرکت نیز به طور انحصاری یک عدد مشخص تولید شود. بدین منظور از میانگین هندسی تعدیل شده استفاده می‌شود. بنابراین بازده هر یک از شرکت‌ها به صورت زیر محاسبه می‌شود.

$$FinalReturn_i = geomean(Return + 1) - 1 \quad (16)$$

که در آن در اکسل از تابع  $geomean$  به معنای محاسبه میانگین هندسی بوده دلیل اضافه کردن عدد ۱ به هر یک از مقادیر بازده در هر بازه زمانی این است که ممکن است بازده یک شرکت در مقطعی منفی شود که در این حالت امکان استفاده از میانگین هندسی وجود ندارد. مطابق با این اطلاعات، مثال‌های عددی مختلف طراحی شده که نتایج حاصل از حل در قالب جدول ۲ قابل ارائه است.

جدول (۱): مقایسه پاسخ‌های حاصل مثال‌های عددی مختلف با استفاده از

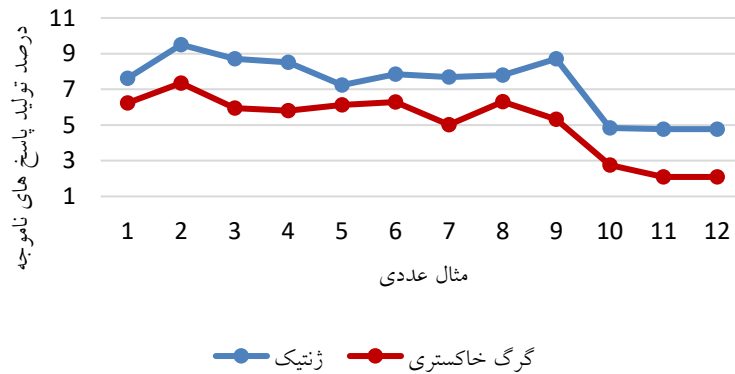
الگوریتم‌های پیشنهادی

گرگ خاکستری		ژنتیک		تعداد شرکت‌های مختلف برای سنجش
درصد پاسخ‌های تولید شده ناموجه	تعداد شرکت‌های انتخاب شده	درصد پاسخ‌های تولید شده ناموجه	تعداد شرکت‌های انتخاب شده	
۴/۸۴	۱۵	۵/۷۹	۲۱	۲۰۰
۶/۲۴	۱۴	۷/۶۲	۲۶	۲۲۰
۷/۳۵	۱۵	۱۰/۰۲	۳۴	۲۵۰
۵/۹۵	۱۷	۸/۷۱	۳۷	۲۸۰

فصلنامه نظریه‌های کاربردی اقتصاد/ سال هشتم/ شماره ۴/ زمستان ۱۴۰۰				
گرگ خاکستری		ژنتیک		تعداد شرکت‌های مختلف برای سنجش
درصد پاسخ‌های تولید شده ناموجه	تعداد شرکت‌های انتخاب شده	درصد پاسخ‌های تولید شده ناموجه	تعداد شرکت‌های انتخاب شده	
۵/۸۱	۲۴	۸/۵۲	۴۰	۳۰۰
۶/۱۳	۲۸	۷/۲۳	۴۴	۳۳۰
۶/۲۹	۳۰	۷/۸۴	۴۸	۳۵۰
۵/۰۲	۳۴	۷/۶۹	۴۸	۳۸۰
۶/۳۱	۳۸	۷/۷۹	۵۲	۴۰۰
۵/۳۲	۴۱	۸/۷۰	۵۸	۴۲۰
۲/۷۶	۴۹	۴/۸۳	۵۹	۴۵۰
۲/۰۹	۵۱	۴/۷۷	۶۵	۴۹۱

منبع: یافته‌های تحقیق

همانطور که مشاهده می‌شود، پاسخ‌های حاصل از حل الگوریتم‌های پیشنهادی در مقایسه با مدل ارائه شده دارای کیفیت مناسبی هستند. در واقع می‌توان مشاهده نمود که هر دو الگوریتم درصد تولید پاسخ‌های ناموجه کمی داشته و در بیشترین حالت این مقدار به ۱۰.۰۲ درصد رسیده است. اما در این بین الگوریتم گرگ خاکستری به مراتب درصد پاسخ‌های ناموجه کمتری داشته که نشان‌دهنده سطح کارایی بالای این الگوریتم در حل مساله پژوهش است. همچنین این الگوریتم در مجموع با تعداد شرکت‌های کمتری نسبت به ژنتیک توانسته است که سرمایه‌گذاری نهایی را انجام دهد. شکل ۳ درصد تولید پاسخ‌های ناموجه برای هر الگوریتم را نشان می‌دهد.



### نمودار (۱): درصد پاسخ‌های ناموجه تولید شده در هر الگوریتم

منبع: یافته‌های تحقیق

بنابراین می‌توان گفت که الگوریتم گرگ خاکستری بهترین روش جهت حل مساله در مقایسه با ژنتیک است. با توجه به اینکه یکی از مهم‌ترین معیارهای موثر بر افزایش سطح سرمایه‌گذاری، حداکثر مقدار مجاز یا همان  $U_i$  است، در این بخش سعی می‌شود تعدادی مثال عددی تصادفی تولید شده و سپس از طریق افزایش  $U_i$ ، میزان تغییر در پاسخ‌ها در سطوح ۲۰، ۴۰ و ۶۰ درصد  $U_i$  مورد بررسی قرار گیرد. بدین منظور مثال-های عددی با داده‌های تصادفی تولید شده و پس از حل، نتایج عددی در قالب جدول ۲ ارائه می‌گردد.

### جدول (۲): نتایج حاصل از تحلیل حساسیت تغییرات $U_i$

افزایش مقدار پارامتر $U_i$									مثال عددی
۶۰ درصد			۴۰ درصد			۲۰ درصد			
کمترین مقدار سرمایه-گذاری	میانگین سرمایه-گذاری	بیشترین مقدار سرمایه-گذاری	کمترین مقدار سرمایه-گذاری	میانگین سرمایه-گذاری	بیشترین مقدار سرمایه-گذاری	کمترین مقدار سرمایه-گذاری	میانگین سرمایه-گذاری	بیشترین مقدار سرمایه-گذاری	
۵۰/۸۳	۷۱/۹۵	۹۰	۳۷/۸۴	۴۵/۵۸	۱۰۰	۳۲/۱۶	۳۹/۸۷	۶۹/۱۴	۱
۲۹/۹۰	۴۰/۵۵	۸۲/۹۳	۲۲/۸۷	۲۹/۰۱	۵۹/۰۶	۱۸/۲۰	۲۳/۶۸	۴۱/۸۸	۲
۶۶/۹۶	۸۵	۱۰۰	۴۰/۵۸	۵۳/۲۰	۹۵	۳۳/۷۲	۳۸/۸۲	۷۶/۶۷	۳
۳۰/۰۸	۳۶/۹۲	۷۲/۹۰	۲۱/۲۷	۲۸/۶۱	۶۹/۴۲	۱۷/۴۱	۱۹/۴۸	۴۶/۳۶	۴
۵۴/۶۸	۷۱/۶۱	۹۹	۳۷	۵۴/۵۴	۱۰۰	۲۹/۶۴	۴۳/۴۳	۸۲/۲۰	۵
۶۳/۶۷	۸۲/۹۹	۱۰۰	۳۰/۴۰	۶۱/۴۷	۱۰۰	۳۱/۳۳	۴۵/۶۵	۷۶/۳۴	۶
۵۰/۱۹	۶۸/۲۱	۹۳	۴۰/۶۹	۵۱	۱۰۰	۲۵/۳۸	۳۲/۶۹	۵۹/۹۱	۷

فصلنامه نظریه‌های کاربردی اقتصاد/ سال هشتم/ شماره ۴/ زمستان ۱۴۰۰									
۶۳/۹۵	۶۸/۲۴	۱۰۰	۳۶/۷۸	۴۵/۱۲	۹۸/۰۷	۲۹/۶۶	۳۹/۹۹	۶۵/۴۸	۸
۳۳/۴۵	۳۶/۹۷	۷۵/۹۰	۲۲/۹۹	۳۰/۱۶	۶۷/۶۷	۱۸/۳۰	۲۵/۶۶	۵۵/۱۸	۹
۶۷/۹۲	۷۸/۶۸	۱۰۰	۴۷/۰۶	۶۱/۸۴	۱۰۰	۳۴/۰۲	۴۵/۸۲	۹۲/۵۲	۱۰
۵۳/۱۰	۶۵/۹۳	۹۴	۳۴/۴۲	۵۱/۳۷	۹۱/۸۵	۸۳/۳۰	۳۶/۱۷	۶۲/۳۹	۱۱
۶۰/۸۳	۷۷/۳۴	۹۱	۳۹/۶۵	۵۶/۷۸	۹۶/۶۳	۳۲/۲۲	۳۸/۱۹	۶۹/۸۲	۱۲
۲۹/۶۴	۴۲/۵۳	۷۹/۹۲	۲۴/۸۱	۳۰/۵۹	۶۸/۹۸	۱۶/۷۷	۲۵/۴۷	۵۲/۹۸	۱۳
۴۰/۶۹	۶۲/۷۶	۹۳	۳۲/۱۸	۴۵/۹۹	۱۰۰	۲۲/۷۳	۳۱	۵۳/۶۵	۱۴
۲۷/۶۶	۳۶/۹۸	۷۰/۱۵	۲۱/۲۸	۲۴/۹۸	۵۳/۴۷	۱۷/۷۸	۲۱/۸۷	۴۳/۸۵	۱۵

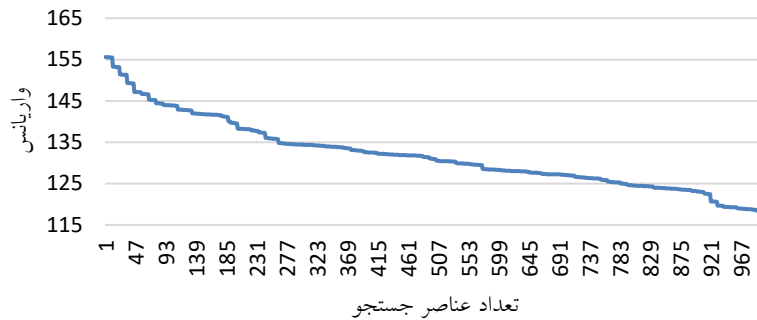
منبع: یافته‌های تحقیق

همانطور که مشاهده می‌شود، با افزایش  $U_i$ ، مقدار حداقل، میانگین و حداکثر سرمایه-گذاری افزایش می‌یابد. می‌توان گفت که مدل پیشنهادی دارای رفتاری منطبق بر واقعیت بوده و بنابراین عملکرد مناسبی را دارد. شکل ۴ روند افزایش را برای چند مثال خاص نشان می‌دهد.



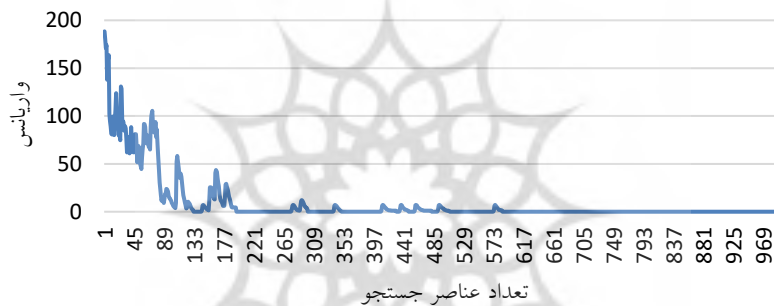
نمودار (۲): روند تغییرات مقدار سرمایه‌گذاری به ازای مقادیر مختلف  $U_i$

موضوع دیگری که باید بدان توجه نمود، روند تنوع‌گرایی در الگوریتم است. به طور معمول در الگوریتم‌های فراابتکاری، در مراحل اولیه، تنوع‌گرایی الگوریتم‌ها بالا بوده و در مراحل پایانی این مقدار بسیار کم شده و تعمق‌گرایی جهت یافتن پاسخ نهایی مناسب افزایش می‌یابد. شکل ۵، میزان تنوع‌گرایی هر یک از الگوریتم‌ها را نشان می‌دهد. در این پژوهش، مقدار تنوع‌گرایی از طریق محاسبه واریانس برازندگی اعضای جمعیت در هر تکرار الگوریتم حاصل می‌شود.



### نمودار (۲): تنوع‌گرایی الگوریتم ژنتیک

منبع: یافته‌های تحقیق



### نمودار (۳): تنوع‌گرایی الگوریتم گرگ خاکستری

منبع: یافته‌های تحقیق

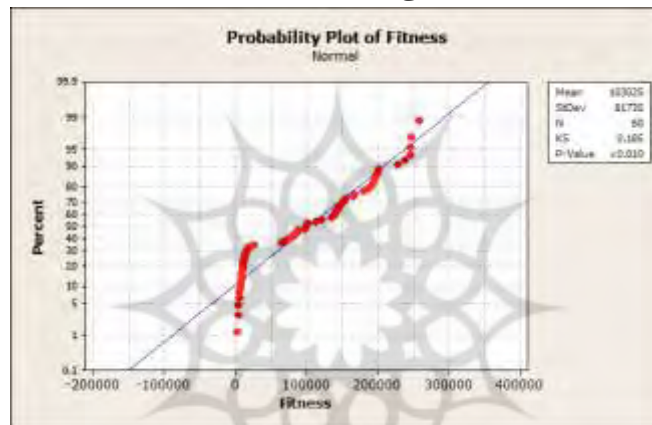
واضح است که الگوریتم ژنتیک در یک روند نزولی از فاز تنوع‌گرایی وارد فاز تعمق‌گرایی می‌شود. اما الگوریتم گرگ خاکستری در یک جهش مشخص، از فاز تنوع‌گرایی وارد فاز تعمق‌گرایی می‌شود. دلیل این موضوع، وجود عملگرهای قدرتمند در الگوریتم گرگ خاکستری برای جستجوی کل فضا به صورت منسجم و تمرکز بر یک محدوده خاص برای یافتن بهترین پاسخ است.

در نهایت به منظور مقایسه دقیق‌تر رفتار الگوریتم‌های گرگ خاکستری و ژنتیک و انتخاب الگوریتم برتر، از آزمون‌ها آماری استفاده می‌شود. بدین منظور ابتدا با استفاده از آزمون کولموگروف-اسمیرنوف<sup>۱</sup> که، نرمال بودن یا نبودن توزیع داده‌ها را نشان می‌دهد، در مورد انتخاب آزمون‌ها پارامتریک یا ناپارامتریک تصمیم‌گیری می‌شود. اگر نتایج این

<sup>1</sup> Kolmogorov-Smirnov test

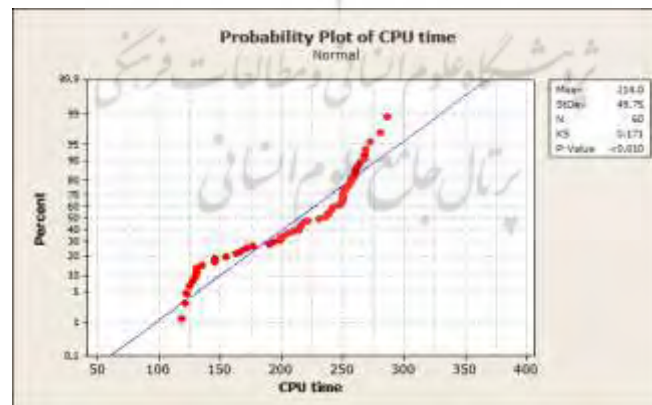


آزمون رد شود، داده‌ها دارای توزیع نرمال بوده و امکان استفاده از آزمون‌های آماری پارامتریک وجود خواهد داشت. در صورت تأیید نتایج این آزمون نیز این نتیجه‌گیری حاصل می‌شود که داده‌ها دارای توزیع نرمال نبوده و بنابراین باید از آزمون‌های ناپارامتریک استفاده شود. باید به این نکته توجه نمود که اگر نتیجه‌ی آزمون کولموگروف-اسمیرنوف معنی‌دار بود  $P - value \leq 0.05$  بود، به معنی این است که توزیع داده‌ها، نرمال نیست و باید از آزمون‌های ناپارامتریک استفاده شود، چون تأیید شدن این آزمون، نشانه ناپارامتریک بودن داده‌ها است. در ادامه نمودارهای این آزمون روی تمامی معیارهای تعریف‌شده بررسی و نتیجه به صورت زیر نشان داده شده است.



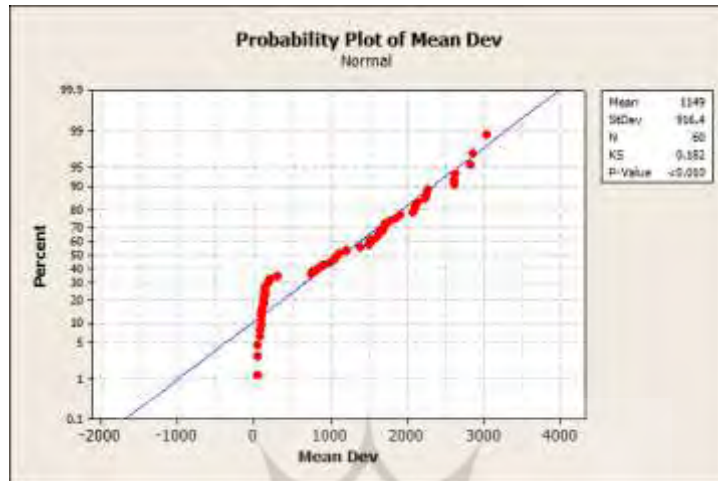
نمودار (۴): آزمون کولموگروف-اسمیرنوف برای معیار مقدار تابع هدف

منبع: یافته‌های تحقیق



نمودار (۵): آزمون کولموگروف-اسمیرنوف برای آزمون K-S برای زمان حل

منبع: یافته‌های تحقیق



نمودار (۶): آزمون کولموگروف-اسمیرنوف برای انحراف از معیار پاسخها

منبع: یافته‌های تحقیق

جدول زیر مقادیر p-value آزمون‌های تست نرمال بودن مقدار تابع هدف، زمان حل و مقدار انحراف از معیار را ارائه می‌دهد.

جدول (۳): نتیجه نهایی آزمون نرمال بودن در معیارها

معیار	مقدار تابع هدف	زمان حل	انحراف از معیار
P-Value	<0/010	<0/010	<0/010
نتیجه	رد فرض صفر	رد فرض صفر	رد فرض صفر

منبع: یافته‌های تحقیق

مطابق با اطلاعات جدول ۳ مشاهده می‌شود که هیچ‌کدام از معیارها دارای توزیع نرمال نبوده و بنابراین باید از آزمون‌های ناپارامتریک برای مقایسه دو جامعه استفاده کرد. در این پژوهش از آزمون کروسکال-والیس استفاده شده که در آن برابری میانگین دو جامعه به عنوان فرض صفر و نقض آن به عنوان فرض یک در نظر گرفته می‌شود. نتایج حاصل از اجرای این آزمون در جدول زیر ارائه می‌شود.

جدول (۴): نتیجه آزمون کروسکال والیس در معیارها

معیار	مقدار تابع هدف	زمان حل	انحراف از معیار
P-Value	0/161	0	0/471
نتیجه	تأیید فرض صفر	رد فرض صفر	تأیید فرض صفر

منبع: یافته‌های تحقیق

مشاهده می‌شود که دو الگوریتم گرگ خاکستری و ژنتیک از نظر مقدار تابع هدف و انحراف از معیار دارای دو جامعه با میانگین برابر بوده و عملکرد آن‌ها مشابه است. اما این الگوریتم‌ها از نظر زمان حل دارای تفاوت معناداری بوده که البته الگوریتم گرگ خاکستری مطابق با اطلاعات جدول فوق دارای کارایی بالاتری است. بنابراین می‌توان گفت که در مجموع الگوریتم گرگ خاکستری عملکرد بهتری داشته و جهت حل مسائل دنیای واقعی مناسب است.

### ۵- بحث و نتیجه‌گیری

بهینه‌سازی سبد سهام به مفهوم انتخاب سهام مناسب بر اساس بیشترین بازده و کمترین ریسک است. از طرفی استفاده از الگوریتم‌های فراابتکاری امروزه به عنوان یک ابزار قدرتمند در حل مسائل بهینه‌سازی مورد استفاده قرار می‌گیرد. لذا در این پژوهش مساله انتخاب بهینه سبد سهام به عنوان یک مساله بهینه‌سازی ریاضی مورد بررسی قرار گرفته است. مدل ارائه شده دارای ساختاری مبتنی بر برنامه‌ریزی تصادفی است، یعنی مدل تصادفی با رویکرد محدودیت شانس است که به معادل خطی تبدیل شده و قابل حل به کمک حل‌کننده‌های خطی است. همچنین به دلیل وجود ریسک‌های سرمایه‌گذاری که انتخاب نهایی سبد سهام را به چالش‌هایی مواجه خواهند کرد، تابع هدف دوم مساله شامل یک تابع واریانس درجه دوم است که به محاسبه ریسک‌های موجود در سرمایه‌گذاری می‌پردازد. در واقع مدل پژوهش براساس مدل ارائه شده توسط کلنر و یوتز (۲۰۱۹) و دعائی و صابرفرد (۱۴۰۰) فرموله شده و توسعه یافته است.

از منظر روش حل، در این پژوهش دو الگوریتم فراابتکاری ژنتیک و گرگ خاکستری مورد استفاده قرار گرفته شده و برای بررسی کارایی آن‌ها مثال‌های عددی متنوعی براساس شرایط موجود در دنیای واقعی طراحی شده است. برای تعیین نمونه آماری به دلیل محدود بودن تعداد شرکت‌های واجد شرایط از روش حذف سیستماتیک استفاده گردیده است؛ به عبارت دیگر آن دسته از شرکت‌های جامعه آماری که شرایط خاصی را دارا بودند، به عنوان نمونه آماری انتخاب و مابقی حذف شده‌اند. داده‌های مورد نیاز برای انجام پژوهش، ریسک و بازده شرکت‌ها می‌باشد. فرآیند روش‌های تجزیه و تحلیل داده-ها به ترتیب عبارت از انتخاب داده‌ها، پاک‌سازی و آماده‌سازی داده‌ها، تعیین تابع هدف، انتخاب سبد سهام بر اساس الگوریتم‌های پیشنهادی است.

طبق نتایج محاسباتی می‌توان مشاهده نمود الگوریتم گرگ خاکستری دارای کارایی بالاتری نسبت به الگوریتم ژنتیک بوده و بنابراین به عنوان روش برتر در این پژوهش معرفی می‌شود. در بررسی آماری روش‌های ژنتیک و گرگ خاکستری نیز مشاهده شده که الگوریتم گرگ خاکستری دارای عملکرد بهتری است.

با توجه به اینکه نتایج مسائل بهینه‌سازی قابلیت مقایسه با نتایج پژوهش‌های مرتبط را ندارد اما می‌توان بیان کرد که این پژوهش در ادامه پژوهش دعائی و صابرفرد (۱۴۰۰) است و دوره زمانی آن را گسترش داده است لذا به دلیل افزایش حجم داده و دقت محاسبات نتایج قابلیت اتکای بالاتری دارند و همچنین مساله را از روش‌های فراابتکاری (ژنتیک و گرگ خاکستری) حل کرده است.

البته در دنیای واقعی با توجه به اینکه اقتصاد ایران مبتنی بر دستورات دولت است و به عنوان اقتصاد دستوری شناخته می‌شود و از طرف دیگر دلیل تحریم، رانت‌های داخلی و سومدیریت اقتصاد قابلیت پیش‌بینی ندارد؛ لذا استفاده از الگوریتم‌های مختلف برای بهینه‌سازی سبد سهام و دریافت سبد بهینه کار بسیار دشواری است. اما در صورت رفع تحریم‌ها و پیش‌بینی پذیر شدن اقتصاد می‌توان از این مدل در حل مسائل مرتبط با دنیای واقعی نیز به صورت مناسب استفاده نمود.

به منظور گسترش ابعاد پژوهش پیشنهاد می‌شود که از روش‌های پیش‌بینی مانند شبکه عصبی به منظور تعیین سطح دقیق پارامترهای مساله به صورت مناسب استفاده شود. همچنین استفاده از سایر تکنیک‌های برنامه‌ریزی تحت شرایط عدم قطعیت مانند برنامه‌ریزی استوار به منظور توسعه نتایج پژوهش می‌تواند به عنوان پیشنهاد پژوهش در نظر گرفته شود.

### تضاد منافع

نویسندگان نبود تضاد منافع را اعلام می‌دارند.

### فهرست منابع

۱. دعائی، میثم و صابرفرد، مهسا (۱۴۰۰). رویکرد محدودیت شانس با امکان تصحیح نسبی در مساله انتخاب سبد سهام در بازار سرمایه ایران. *مهندسی مالی و مدیریت اوراق بهادار*، ۱۲(۴۶)، ۶۹۰-۶۶۷.
  ۲. رامتین نیا، شاهین و عطرچی، رومینا (۱۳۹۷). بهینه‌سازی سبد سهام با استفاده از الگوریتم تکامل تفاضلی و رویکرد ارزش در معرض ریسک مشروط. *دانش مالی تحلیل اوراق بهادار*، ۱۱(۴۰)، ۳۶-۲۵.
  ۳. راموز، نجمه، اکبری آقمشهدی، زهرا، عاطف دوست، علیرضا (۱۳۹۹). انتخاب پرتفوی بهینه با استفاده از مدل برنامه ریزی توافقی در بورس اوراق بهادار تهران. راهبرد مدیریت مالی، ۸(۱)، ۷۴-۵۴.
  ۴. رضایی، اسدالله، فلاحتی، علی و سهیلی، کیومرث (۱۳۹۷). بهینه‌سازی سبد سهام با استفاده از الگوریتم تجمع ذرات سه هدفه. *فصلنامه نظریه‌های کاربردی اقتصاد*، ۵(۴)، ۵۲-۳۱.
  ۵. سینا، افسانه و فلاح شمس، میرفیض (۱۳۹۸). بهینه‌سازی سبد سرمایه‌گذاری با رویکرد نظریه ارزش فرین در بورس اوراق بهادار تهران. *مهندسی مالی و مدیریت اوراق بهادار*، ۱۰(۴۰)، ۲۰۰-۱۸۴.
  ۶. وکیلی فرد، حمیدرضا، پيله وری، نازنین و زیدی، سیده سمانه (۱۳۹۳). ارائه مدلی جهت پیش‌بینی ورشکستگی شرکت‌های پذیرفته شده در بورس اوراق بهادار تهران با استفاده از سیستم استنتاج فازی عصبی انطباق‌پذیر. *مهندسی مالی و مدیریت اوراق بهادار*، ۵(۱۸)، ۱۷-۳۰.
  ۷. یوسفی طزرجان، مصطفی، صفی صمغ آبادی، اعظم دخت و معماریانی، عزیزاله. (۱۴۰۰). پیش‌بینی قیمت سهام در بورس اوراق بهادار با استفاده از مدل ترکیبی مبتنی بر شبکه عصبی بازگشتی و سیستم استنتاج عصبی فازی سازگار و سیستم خبره فازی. *مهندسی مالی و مدیریت اوراق بهادار*، ۱۲(۴۶)، ۵۵۷-۵۴۰.
- 1- Benita, F., López-Ramos, F., & Nasini, S. (2019). A bi-level programming approach for global investment strategies with financial intermediation. *European Journal of Operational Research*, 274(1), 375-390.

- 2- Bilbao-Terol, A., Jiménez-López, M., Arenas-Parra, M., & Rodríguez-Uría, M. (2018). Fuzzy multi-criteria support for sustainable and social responsible investments: the case of investors with loss aversion. In *The Mathematics of the Uncertain* (pp. 555-564). Springer, Cham.
- 3- Bozorg-Haddad, O. (Ed.). (2018). *Advanced optimization by nature-inspired algorithms* (Vol. 720). Singapore: Springer.
- 4- Castilho, D., Gama, J., Mundim, L. R., & de Carvalho, A. C. (2019, June). Improving portfolio optimization using weighted link prediction in dynamic stock networks. In *International Conference on Computational Science* (pp. 340-353). Springer, Cham.
- 5- Cesarone, F., Scozzari, A., & Tardella, F. (2020). An optimization-diversification approach to portfolio selection. *Journal of Global Optimization*, 76(2), 245-265.
- 6- Chen, X., Kelley, C. T., Xu, F., & Zhang, Z. (2018). A smoothing direct search method for Monte Carlo-based bound constrained composite nonsmooth optimization. *SIAM Journal on Scientific Computing*, 40(4), A2174-A2199.
- 7- Doaei, M., Davarpanah, S. H., & Sabzi, M. Z. (2017). ANN-DEA approach of corporate diversification and efficiency in bursa Malaysia. *Advances in Mathematical Finance and Applications*, 2(1), 9-20.
- 8- Doaei, M., Mirzaei, S. A., & Rafigh, M. (2021). Hybrid multilayer perceptron neural network with grey wolf optimization for predicting stock market index. *Advances in Mathematical Finance and Applications*, 6(4), 1-21.
- 9- Farughi, H., Dolatabadiah, M., Moradi, V., Karbasi, V., & Mostafayi, S. (2017). Minimizing the number of tool switches in flexible manufacturing cells subject to tools reliability using genetic algorithm. *Journal of Industrial and Systems Engineering*, 10(special issue on Quality Control and Reliability), 17-33.
- 10- Farughi, H., Tavana, M., Mostafayi, S., & Santos Arteaga, F. J. (2020). A novel optimization model for designing compact, balanced, and contiguous healthcare districts. *Journal of the Operational Research Society*, 71(11), 1740-1759.
- 11- Rahiminezhad Galankashi, M., Mokhatab Rafiei, F., & Ghezelbash, M. (2020). Portfolio selection: a fuzzy-ANP approach. *Financial Innovation*, 6(1), 1-34.
- 12- Garcia, F., González-Bueno, J., Oliver, J., & Tamošiūnienė, R. (2019). A credibilistic mean-semivariance-PER portfolio selection model for Latin America. *Journal of Business Economics and Management*, 20(2), 225-243.
- 13- González-Díaz, J., González-Rodríguez, B., Leal, M., & Puerto, J. (2021). Global optimization for bilevel portfolio design: Economic insights from the Dow Jones index. *Omega*, 102, 102353.

- 14- Guo, S., & Ching, W. K. (2021). High-order Markov-switching portfolio selection with capital gain tax. *Expert Systems with Applications*, 165, 113915.
- 15- Hadavandi, E., Mostafayi, S., & Soltani, P. (2018). A Grey Wolf Optimizer-based neural network coupled with response surface method for modeling the strength of siro-spun yarn in spinning mills. *Applied Soft Computing*, 72, 1-13.
- 16- Jing, K., Xu, F., & Li, X. (2022). A bi level programming framework for identifying optimal parameters in portfolio selection. *International Transactions in Operational Research*, 29(1), 87-112.
- 17- Kalashnikov, V. V., Kalashnykova, N. I., & Leal-Coronado, M. A. (2017). Solution of the portfolio optimization model as a bilevel programming problem. *Bulletin of the Cherkasy Bohdan Khmelnytsky National University. Economic Sciences*, (1).
- 18- Kellner, F., & Utz, S. (2019). Sustainability in supplier selection and order allocation: Combining integer variables with Markowitz portfolio theory. *Journal of cleaner production*, 214, 462-474.
- 19- Kobayashi, K., Takano, Y., & Nakata, K. (2020). Bilevel Cutting-plane Algorithm for Solving Cardinality-constrained Mean-CVaR Portfolio Optimization Problems. *arXiv preprint arXiv:2005.12797*.
- 20- Liagkouras, K. (2019). A new three-dimensional encoding multiobjective evolutionary algorithm with application to the portfolio optimization problem. *Knowledge-Based Systems*, 163, 186-203.
- 21- Majumdar, S., & Partridge, M. D. (2009). *Impact of economic growth on income inequality: A regional perspective* (No. 319-2016-9872).
- 22- Masmoudi, M., & Ben Abdelaziz, F. (2017). A chance constrained recourse approach for the portfolio selection problem. *Annals of Operations Research*, 251(1), 243-254.
- 23- Majumdar, S., & Partridge, M. D. (2009). *Impact of economic growth on income inequality: A regional perspective* (No. 319-2016-9872).
- 24- Mirjalili, S., Mirjalili, S. M., & Lewis, A. (2014). Grey wolf optimizer. *Advances in engineering software*, 69, 46-61.
- 25- Oikonomou, I., Platanakis, E., & Sutcliffe, C. (2018). Socially responsible investment portfolios: Does the optimization process matter?. *The British Accounting Review*, 50(4), 379-401.
- 26- Pesaran, H., & Shin, Y. (1999). An autoregressive distributed lag modelling approach to cointegration "chapter 11. In *Econometrics and Economic Theory in the 20th Century: The Ragnar Frisch Centennial Symposium*. Cambridge University Press Cambridge.
- 27- Pesaran, M. H., Shin, Y., & Smith, R. J. (1996). *Testing for the Existence of a Long-run Relationship'* (No. 9622). Faculty of Economics, University of Cambridge.
- 28- Pesaran, M. H., & Smith, R. P. (2014). Signs of impact effects in time series regression models. *Economics Letters*, 122(2), 150-153.

- 29- Pun, C. S. (2018). Time-consistent mean-variance portfolio selection with only risky assets. *Economic Modelling*, 75, 281-292.
- 30- Quaranta, A. G., & Zaffaroni, A. (2008). Robust optimization of conditional value at risk and portfolio selection. *Journal of Banking & Finance*, 32(10), 2046-2056.
- 31- Raza, S. A., & Shah, N. (2017). Tourism growth and income inequality: does Kuznets Curve hypothesis exist in top tourist arrival countries. *Asia Pacific Journal of Tourism Research*, 22(8), 874-884.
- 32- Rubin, A., & Segal, D. (2015). The effects of economic growth on income inequality in the US. *Journal of Macroeconomics*, 45, 258-273.
- 33- Rezaei, S., & Vaez-Ghasemi, M. (2020). A new Method for Sustainable Portfolio Selection with DEA, TOPSIS and MIP in Stock exchange.
- 34- Stoilov, T., Stoilova, K., & Vladimirov, M. (2021). Explicit Value at Risk Goal Function in Bi-Level Portfolio Problem for Financial Sustainability. *Sustainability*, 13(4), 2315.
- 35- Sinha, N. (2005). Growth, Inequality and Structural Adjustment: An Empirical Interpretation of the S-Curve for the Indian Economy. In *Economic Growth, Economic Performance and Welfare in South Asia* (pp. 369-383). Palgrave Macmillan, London.
- 36- Tribble, R. (1996). The Kuznets-Lewis process within the context of race and class in the US economy. *International Advances in Economic Research*, 2(2), 151-164.
- 37- Vickers, N. J. (2017). Animal communication: when i'm calling you, will you answer too?. *Current biology*, 27(14), R713-R715.
- 38- Vuković, M., Pivac, S., & Babić, Z. (2020). Comparative analysis of stock selection using a hybrid MCDM approach and modern portfolio theory. *Croatian Review of Economic, Business and Social Statistics*, 6(2), 58-68.
- 39- Wang, J., He, F., & Shi, X. (2019). Numerical solution of a general interval quadratic programming model for portfolio selection. *PloS one*, 14(3), e0212913.
- 40- Xu, D., Ren, J., Dong, L., & Yang, Y. (2020). Portfolio selection of renewable energy-powered desalination systems with sustainability perspective: A novel MADM-based framework under data uncertainties. *Journal of Cleaner Production*, 275, 124114.
- 41- Yoshino, N., Taghizadeh-Hesary, F., & Otsuka, M. (2021). Covid-19 and optimal portfolio selection for investment in sustainable development goals. *Finance research letters*, 38, 101695.
- 42- Zhou, F., Wang, X., Goh, M., Zhou, L., & He, Y. (2019). Supplier portfolio of key outsourcing parts selection using a two-stage decision making framework for Chinese domestic auto-maker. *Computers & Industrial Engineering*, 128, 559-575.