

سازمان اسناد و کتابخانه ملی
جمهوری اسلامی ایران



دانشگاه خاتم

دانشکده فنی و مهندسی

گروه مهندسی صنایع

بهینه‌سازی پورتفوی براساس مدل میانگین-واریانس با

استفاده از الگوریتم‌های تکاملی چندهدفه

پایان‌نامه برای دریافت درجه کارشناسی ارشد در مهندسی صنایع گرایش مهندسی مالی

استاد راهنما:

دکتر خدیجه حسنلو

پژوهشگر:

چیستا زندخاوری

بهمن ۹۴

اظهارنامه دانشجو

عنوان پایان نامه : بهینه سازی پورتهوی براساس مدل میانگین-واریانس با استفاده از

الگوریتم های تکاملی چندهدفه

استاد راهنما : سرکار خانم دکتر خدیجه حسنلو

اینجانب چیستا زندخاوری دانشجوی دوره کارشناسی ارشد در رشته مهندسی صنایع

گرایش مهندسی مالی دانشگاه خاتم به شماره دانشجویی ۹۲۱۲۰۲۳۰۱۷ گواهی می نمایم که

تحقیقات ارائه شده در این پایان نامه توسط اینجانب انجام شده است و صحت و اصالت مطالب

نگارش شده مورد تایید می باشد و در موارد استفاده از کار دیگر محققان به مرجع مورد استفاده

اشاره شده است. به علاوه گواهی می نمایم که مطالب مندرج در پایان نامه تاکنون برای دریافت

هیچ نوع مدرک یا امتیازی توسط اینجانب یا فرد دیگری ارائه نشده است و در تدوین متن

پایان نامه چارچوب مصوب دانشگاه را به طور کامل رعایت کرده ام.

کلیه حقوق مادی و معنوی مترتب بر نتایج مطالعات، ابتکارات و نوآوری های ناشی از

تحقیق، همچنین چاپ و تکثیر، نسخه برداری، ترجمه و اقتباس از این پایان نامه کارشناسی

ارشد، برای دانشگاه خاتم محفوظ است. نقل مطلب با ذکر منبع بلامانع است.

امضادانشجو

تاریخ

تقدیم به:

تقدیم به پدر عزیزم که تکیه‌گاه و پشت گرمیم در تمام مراحل زندگیست.

به مادر مهربانم که جلوه‌ی تلاش و حمایت در زیر بار مصائب این چرخ گردون است.

به همسر بزرگوaram که با صبر و شکیبایی خود همراه و همگام من بوده است.

به وستای عزیزم که برایم خواهری مهربان و دوستی همراه و همراهی دلسوز و همیشگی

است.

و تقدیم به

تمامی جویندگان دانش و معرفت

سپاس:

سپاس بی کران دارم از سرکار خانم دکتر خدیجه حسنلو که همواره راهنما و راهگشای بنده

بودند و بدون یاری ایشان انجام این پروژه ممکن نبود.

چکیده

در موضوعات مالی سبد اوراق بهادار را می‌توان به معنی یک ترکیب و یا مجموعه‌ای از سرمایه‌گذاری‌ها دانست که به‌وسیله‌ی یک موسسه و یا یک فرد نگهداری می‌شود. بهینه‌سازی سبد اوراق بهادار به منظور حداکثرسازی سود یکی از اصلی‌ترین دغدغه‌های سرمایه‌گذاران در بازارهای مالی است. تشکیل سبد اوراق بهادار به‌عنوان یک تصمیم‌گیری حساس و حیاتی برای شرکت‌ها شناخته شده است. در واقع انتخاب سبد اوراق بهادار مسئله‌ی تخصیص سرمایه بین گزینه‌های مختلف اوراق بهادار می‌باشد. به‌همین دلیل انتخاب یک سبد اوراق بهادار با نرخ بازدهی بالا و ریسک کنترل شده یکی از موضوعاتی است که مورد توجه بسیاری از محققان قرار گرفته است. روش‌های فعلی در بهینه‌سازی سبد اوراق بهادار از کارایی لازم برخوردار نبوده و لذا برای حل این مشکل الگوریتم‌های تکاملی چندهدفه مورد توجه قرار گرفته‌اند. در این پژوهش براساس مدل میانگین-واریانس مارکوویتز با استفاده از الگوریتم‌های تکاملی چندهدفه NSGA-II، SPEA2 و PESA-II به تشکیل سبد سهام پرداخته شده است. همچنین داده‌های ۱۰ شرکت برتر از شرکت‌های بورس اوراق بهادار تهران را به‌عنوان نمونه‌ی آماری انتخاب نموده و اطلاعات سهام آن‌ها از شهریور ۱۳۸۸ تا شهریور ۱۳۹۳ مورد استفاده قرار گرفته است. سپس با استفاده از معیارهای ارزیابی عملکرد پورتفوی از جمله معیار شارپ و ترینر، صحت عملکرد الگوریتم‌ها ثابت شده است. نتایج نشان می‌دهد الگوریتم تکاملی چندهدفه NSGA-II برای انتخاب سبد سهام در مقایسه با دو الگوریتم SPEA2 و PESA-II الگوریتمی مناسب و کارا برای کمک به سرمایه‌گذاری در انتخاب سبد سهام می‌باشد.

واژه های کلیدی: بهینه‌سازی چندهدفه، مدل میانگین-واریانس، الگوریتم‌های تکاملی چندهدفه

فهرست مطالب

فصل ۱: مقدمه	۱
۱-۱ مقدمه	۲
۲-۱ بیان مسأله	۳
۳-۱ اهمیت و ضرورت تحقیق	۴
۴-۱ اهداف تحقیق	۵
۵-۱ سوالات تحقیق	۵
۶-۱ کلیات روش تحقیق	۵
۷-۱ قلمرو تحقیق	۵
۱-۷-۱ دوره‌ی زمانی	۵
۲-۷-۱ مکان تحقیق	۶
۸-۱ جامعه و نمونه تحقیق	۶
۹-۱ محدودیت‌های تحقیق	۶
۱۰-۱ مفاهیم و اصطلاحات	۶
فصل ۲: مروری بر مطالعات انجام شده	۱۰
۱-۲ مقدمه	۱۱
۲-۲ چارچوب نظری تحقیق	۱۳
۳-۲ مبانی نظری تحقیق	۱۴
۱-۳-۲ نظریه‌ی پورتفوی	۱۴
۲-۳-۲ مدل میانگین - واریانس	۱۷
۳-۳-۲ ریسک و بازده	۱۸
۴-۳-۲ بهینه‌سازی	۱۹
۵-۳-۲ الگوریتم‌های چندهدفه	۲۳
۴-۲ پیشینه‌ی تحقیق	۲۵
۱-۴-۲ مروری بر پژوهش‌های خارجی	۲۵
۲-۴-۲ مروری بر پژوهش‌های داخلی	۳۰
۵-۲ نتیجه‌گیری	۳۵
فصل ۳: روش تحقیق	۳۶
۱-۳ مقدمه	۳۷
۲-۳ روش تحقیق	۳۹

۳۹	۳-۲-۱ معرفی مدل مارکوویتز
۴۱	۳-۲-۲ پارامترهای مدل مارکوویتز
۴۳	۳-۲-۳ الگوریتم NSGA-II
۴۵	۳-۲-۴ الگوریتم SPEA2
۴۷	۳-۲-۵ الگوریتم PESA-II
۴۸	۳-۳ معیارهای ارزیابی عملکرد پورتفوی
۴۸	۳-۳-۱ معیار شارپ
۴۹	۳-۳-۲ معیار ترینر
۴۹	۳-۴ جامعه‌ی آماری
۵۰	۳-۵ نمونه‌ی آماری
۵۰	۳-۶ روش گردآوری داده‌ها
۵۱	۳-۷ روش تجزیه و تحلیل داده‌ها
۵۲	فصل ۴: نتایج
۵۳	۴-۱ مقدمه
۵۴	۴-۲ پارامترها و متغیرهای مدل مارکوویتز
۵۶	۴-۳ نتایج عددی حاصل از اجرای الگوریتم‌ها
۵۹	۴-۴ الگوریتم NSGA-II
۶۲	۴-۵ الگوریتم SPEA2
۶۴	۴-۶ الگوریتم PESA-II
۶۶	۴-۷ محاسبه‌ی معیار شارپ
۶۷	۴-۸ نمودار CAL
۶۸	۴-۹ محاسبه‌ی معیار ترینر
۷۱	۴-۱۰ معیار فاصله از نقطه‌ی ایده‌آل
۷۲	۴-۱۱ نتیجه‌گیری و جمع‌بندی
۷۳	فصل ۵: بحث و نتیجه‌گیری
۷۴	۵-۱ مقدمه
۷۶	۵-۲ نتیجه‌گیری
۷۸	۵-۳ پیشنهادات تحقیق براساس مبانی نظری و سوال‌ها
۷۸	۵-۴ پیشنهادات جهت تحقیقات آینده
۸۰	منابع و مراجع
۸۶	پیوست‌ها

فهرست جداول

جدول ۱-۴ پارامترها و متغیرهای مدل مارکوویتز.....	۵۵
جدول ۲-۴ اسامی ۱۰ شرکت برتر بورس به همراه نمادشان	۵۶
جدول ۳-۴ کوواریانس بین سهام	۵۷
جدول ۴-۴ بازده روزانه‌ی سهام	۵۸
جدول ۵-۴ وزن پیشنهادی الگوریتم NSGA-II	۶۱
جدول ۶-۴ بازده و ریسک بهینه	۶۱
جدول ۷-۴ وزن پیشنهادی الگوریتم SPEA2	۶۳
جدول ۸-۴ بازده و ریسک بهینه	۶۳
جدول ۹-۴ وزن پیشنهادی الگوریتم PESA-II	۶۵
جدول ۱۰-۴ ریسک و بازده بهینه	۶۵
جدول ۱۱-۴ ریسک و بازده بهینه هر سه الگوریتم	۶۶
جدول ۱۲-۴ معیارشارپ	۶۶
جدول ۱۳-۴ داده‌های معیار ترینر برای الگوریتم NSGA-II	۶۸
جدول ۱۴-۴ داده‌های معیار ترینر برای الگوریتم SPEA2	۶۹
جدول ۱۵-۴ داده‌های معیار ترینر برای الگوریتم PESA-II	۷۰
جدول ۱۶-۴ معیارترینر	۷۰
جدول ۱۷-۴ فاصله تا نقطه ایده‌آل	۷۱
جدول ۱۸-۴ مقایسه‌ی عملکرد الگوریتم‌ها	۷۲

فهرست نمودارها

نمودار ۴-۱	مرز کارای الگوریتم NSGA-II با تابع هدف مینیمم-مینیمم	۶۰
نمودار ۴-۲	مرز کارای الگوریتم NSGA-II	۶۰
نمودار ۴-۳	الگوریتم SPEA2 با تابع هدف مینیمم-مینیمم	۶۲
نمودار ۴-۴	مرز کارای الگوریتم SPEA2	۶۲
نمودار ۴-۵	مرز کارای الگوریتم PESA-II با تابع هدف مینیمم-مینیمم	۶۴
نمودار ۴-۶	الگوریتم PESA-II	۶۴
نمودار ۴-۷	CAL	۶۷

فهرست شکل

- شکل ۱-۲ دسته‌بندی روشهای بهینه‌سازی چندهدفه ۲۲
- شکل ۱-۳ الگوریتم NSGA-II ۴۵

فصل ۱: مقدمه

۱-۱ مقدمه

بورس اوراق بهادار از سویی مرکز جمع‌آوری پس‌اندازها و نقدینگی بخش خصوصی به منظور تامین مالی پروژه‌های سرمایه‌گذاری بلندمدت است و از طرفی مکانی مناسب و مطمئن برای دارندگان پس‌اندازهای راکد می‌باشد تا در آن جا وجوه خود را سرمایه‌گذاری کرده و در جهت مناسب به کار گیرند. در سال‌های اخیر تلاش‌های زیادی در جهت هدایت سرمایه‌گذاران صورت گرفته و مدل‌های متعددی ارائه شده است. مفاهیم بهینه‌سازی سبد سهام مانند یک ابزاری کارا در جهت درک مفاهیم بازارهای مالی و تصمیم‌گیری‌های درست درآمده است. انتشار نظریه‌ی انتخاب سبد سهام هری مارکوویتز اصلی‌ترین و مهم‌ترین موفقیت در این راستا بوده است. (فابوزی و دیگران، ۲۰۰۷). از زمانی که مارکوویتز مدل خود را منتشر کرد، این مدل تغییرات و بهبودهای فراوانی را در شیوه‌ی نگرش مردم به سرمایه‌گذاری و سهام ایجاد کرد و به عنوان ابزاری کارا برای بهینه‌سازی سبد سهام به کار گرفته شد. در بازارهای سرمایه که صدها نوع سرمایه وجود دارد، سرمایه‌گذار با انبوهی از اطلاعات روبروست که انتخاب را برای وی دشوار می‌سازد. مدل مارکوویتز با استفاده از مدل‌های برنامه‌ریزی ریاضی قابل حل می‌باشد، ولی وقتی محدودیت‌های جهان واقعی، هم‌چون تعداد زیاد سرمایه، محدودیت‌های مقادیر وزنی به آن افزوده می‌شود استفاده از الگوریتم‌های دقیق ریاضی ناممکن شده از اینروست که الگوریتم‌های تکاملی جایگاه ویژه‌ای می‌یابند.

در این فصل به بیان مسأله، اهمیت و ضرورت تحقیق، اهداف و سوالات پژوهش و کلیات روش تحقیق از جمله دوره‌ی زمانی و مکانی، جامعه و نمونه‌ی تحقیق پرداخته شده است. همچنین محدودیت‌هایی که در خلال انجام پژوهش با آن روبرو شده‌ایم در پایان این فصل آورده شده است.

۱-۲ بیان مسأله

امروزه یکی از دغدغه‌های سرمایه‌گذاران، سرمایه‌گذاری در سبد اوراق بهاداری است که پر بازده‌تر و بهینه‌تر باشد. یکی از وظایفی که مهندسين مالی با آن مواجه هستند کنترل و مشاوره برای ایجاد یک زمینه‌ی مناسب برای سرمایه‌گذاری به منظور دستیابی به سبدي بهینه از اوراق بهادار می‌باشد که خوشبختانه مهندسی مالی توانسته است با ارائه‌ی راهکارها و روش‌های بدیع این نیاز سرمایه‌گذاران را برطرف کند. بنابراین امروزه کارگزاری‌ها، صندوق‌های سرمایه‌گذاری و شرکت‌های تامین سرمایه به دنبال روشی مناسب برای این منظور می‌باشند. در این رابطه، بررسی و مطالعه سرمایه‌گذاران در جهت انتخاب بهترین سبد سرمایه‌گذاری با توجه به میزان ریسک و بازده آن انجام می‌شود. در بهینه‌سازی پورتنفوی مسئله‌ی اصلی انتخاب بهینه‌ی دارایی‌ها و اوراق بهاداری است که با مقدار مشخصی سرمایه می‌توان تهیه کرد. اگرچه کمینه کردن ریسک و بیشینه نمودن بازده سرمایه‌گذاری به نظر ساده می‌رسد اما در عمل روش‌های متعددی برای تشکیل پورتنفوی بهینه به کار رفته است. بیشتر مسائل بهینه‌سازی که در دنیای واقعی با آن‌ها روبرو هستیم بیش از یک هدف را در برمی‌گیرد. در اینگونه مسائل که با عنوان بهینه‌سازی چند هدفه می‌شناسیم ناگزیریم چندین تابع هدف یا شاخص عملکرد را تعریف نماییم و به طور همزمان مقدار همه‌ی آن‌ها را بهینه نماییم. از آنجایی که اهداف مطرح شده در مسائل بهینه‌سازی چند هدفه ممکن است با یکدیگر در تضاد باشند، از این رو، با مجموعه‌ای از پاسخ‌های بهینه مواجه خواهیم بود. از آنجایی که روش‌های بهینه‌سازی تک هدفه در هر مرحله از اجرا تنها یک پاسخ را می‌توانند بدهند نمی‌توانند برای یافتن مجموعه‌ای از پاسخ‌های بهینه مناسب باشند، بنابراین با توجه به بالا بودن درجه‌ی پیچیدگی آن، امروزه الگوریتم‌های تکاملی چندهدفه ابزار مناسبی برای حل مسائل بهینه‌سازی چندهدفه در نظر گرفته می‌شوند.

درواقع الگوریتم‌های زیادی به‌منظور ارائه‌ی بهینه‌ترین سبد سهام توسعه یافته‌اند، اما در این پژوهش ارائه‌ی یک الگوریتم کارا مدنظر است. لذا در این تحقیق سعی بر آن داریم تا با استفاده از الگوریتم‌های تکاملی چند هدفه^۱ به چارچوبی نوین به منظور دستیابی به بهینه‌ترین سبد سهام در صنعت بورس و سرمایه‌گذاری دست یابیم.

۳-۱ اهمیت و ضرورت تحقیق

نهادهای مالی در حوزه‌های سرمایه‌گذاری با فعالیت حرفه‌ای و تخصصی می‌توانند جذابیت کافی برای ترغیب مشارکت و جذب سرمایه‌های سرگردان و کوچک ایجاد نمایند. همزمان با توسعه‌ی اقتصادی و بهبود ساختار مالی کشورها، شاهد قدرت گرفتن صنعت سرمایه‌گذاری بوده‌ایم. با توجه به اهمیت سرمایه‌گذاری در رشد و توسعه‌ی اقتصادی مهم‌ترین سوال در خصوص سرمایه‌گذاری اینست که آیا می‌توان از مدل‌های ریاضی برای تصمیم‌گیری سرمایه‌گذاری و انتخاب بهینه‌ترین سبد سهام استفاده نمود و با توجه به تنوع سهام و بازده و ریسک موجود و همچنین دیگر محدودیت‌ها، مناسب‌ترین مدلی که بتواند به بهینه‌سازی سبد سهام کمک کند چه نوع مدلی است؟

با توجه به مطالعات و مستندات به دست آمده در داخل تاکنون الگوریتم‌هایی در جهت بهینه‌سازی سبد سهام ارائه شده‌اند اما این الگوریتم‌های توسعه‌یافته کارایی کافی را در بهینه‌سازی مسائل چندهدفه با درجه‌ی پیچیدگی بالاتر ندارند، لذا در این تحقیق سعی داریم با توسعه‌ی مدل میانگین-واریانس و الگوریتم‌های تکاملی چندهدفه به انتخاب بهینه‌ترین سبد سهام بپردازیم.

¹ Multi objective evolutionary algorithms

۱-۴ اهداف تحقیق

هدف اصلی این تحقیق بهینه‌سازی سبد سهام با استفاده از الگوریتم‌های تکاملی چندهدفه می‌باشد و هدف فرعی آن مقایسه‌ی بین الگوریتم‌های تکاملی چندهدفه و انتخاب مناسب‌ترین روش است.

۱-۵ سوالات تحقیق

سوال مطرح شده در این تحقیق این است که از بین الگوریتم‌های تکاملی چندهدفه کدام الگوریتم به عنوان بهترین روش به منظور بهینه‌سازی سبد سهام انتخاب می‌گردد؟

۱-۶ کلیات روش تحقیق

این تحقیق از نوع کاربردی می‌باشد. اگر بخواهیم روش تحقیق را با توجه به ابعاد زمان و هدف تقسیم‌بندی کنیم از نظر بعد زمانی جزء پژوهش‌های تجربی است به این دلیل که موضوع مربوط به آینده است و می‌خواهیم وضعیت جدیدی ایجاد کنیم تا براساس تجربه، آزمایش و مطالعه‌ی موضوع در شرایط کنترل‌شده یا معینی به پیش‌بینی‌های قابل تعمیم برای آینده دست یابیم. از نظر بعد هدف جزء پژوهش‌های ارزشیابی می‌باشد به دلیل اینکه زمانی که می‌خواهیم بر پایه‌ی ضوابط یا معیارهای معینی نسبت به مختصات موضوع به نسبت آنچه باید باشد داوری و ارزشیابی کنیم و از آنجایی که این تحقیق این موارد را دربرمی‌گیرد جزء این ابعاد روش تحقیق می‌شود.

۱-۷ قلمرو تحقیق

۱-۷-۱ دوره‌ی زمانی

دوره‌ی زمانی داده‌های تحقیق اطلاعات روزانه‌ی قیمت سهم از شهریور ۱۳۸۸ تا شهریور ۱۳۹۳ به مدت ۵ سال در نظر گرفته شده است.

۱-۷-۲ مکان تحقیق

قلمرو مکانی تحقیق سازمان بورس و اوراق بهادار تهران می‌باشد.

۸-۱ جامعه و نمونه تحقیق

جامعه‌ی در نظر گرفته شده در این پژوهش تمام شرکت‌های پذیرفته شده و فعال در بورس اوراق بهادار تهران می‌باشد و نمونه نیز ۱۰ شرکت برتر بورس طی دوره‌ی زمانی شهریور ۱۳۸۸ تا شهریور ۱۳۹۳ در نظر گرفته خواهد شد.

۹-۱ محدودیت‌های تحقیق

معمولاً هر تحقیقی برای شروع و ادامه‌ی کار پژوهشی خود با موانع و محدودیت‌هایی مواجه می‌شود که از جمله مشکلات و محدودیت‌هایی که این تحقیق با آن روبرو شد عبارت‌اند از:

۱- محدود بودن مطالعات و تحقیقات داخلی در زمینه‌ی پرداختن به انتخاب سبد سهام

بهینه با استفاده از الگوریتم‌های تکاملی چند هدفه

۲- کمبود منابع جامع در زمینه‌ی نحوه‌ی انجام این الگوریتم‌های تکاملی چندهدفه

۱۰-۱ مفاهیم و اصطلاحات

بهینه‌سازی چندهدفه^۱: یک منطقه‌ی تصمیم‌گیری چندمعیاره^۲ می‌باشد که با مشکلات بهینه‌سازی ریاضی شامل بیش از یک تابع هدف در نظر گرفته شده است. در بسیاری از رشته‌های علوم از جمله مهندسی استفاده می‌شود. تصمیمات بهینه، نیاز به مبادلات بین دو یا بیشتر از دو هدف مختلف دارند. برای مشکل بهینه‌سازی چندهدفه تنها یک راه‌حل برای تخمین بهینه‌ی هر هدف وجود ندارد. درواقع توابع هدف مختلف و تعدادی راه‌حل‌های بهینه‌ی پرتو وجود دارد.

¹ Multi objective optimization

² Multi-criteria decision making

این راه‌حل‌ها، غیر تحت سلطه^۱، پارتو بهینه^۲ و پارتو موثر^۳ نامیده می‌شود. در مسائل چندهدفه برای هر دسته از متغیرهای ورودی، چندین تابع هدف وجود دارد. پیدا کردن جواب بهینه در چنین فضایی برای این چنین روش‌هایی کاری دشوار است. یکی از روش‌هایی که کارایی خود را در حل بسیاری از مسائل چندهدفه نشان داده است و در بسیاری از الگوریتم‌های چندهدفه مورد استفاده قرار گرفته است، روش مبتنی بر پارتو می‌باشد. الگوریتم‌هایی مانند NSGA-II^۴، SPEA-II^۵ بر پایه‌ی مفهوم پارتو استوار شده‌اند. (کالیانموی، ۱۳۸۷)

الگوریتم‌های تکاملی^۶: الگوریتم‌های تکاملی شاخه‌ای از هوش مصنوعی است. الگوریتم‌های تکاملی شامل الگوریتم‌هایی جهت جستجو است که در آن‌ها عمل جستجو از چندین نقطه در فضای جواب می‌باشد. مسائل مهندسی و بهینه‌سازی وجود دارند که راه‌حل‌های عادی و متعارف برای آن‌ها چاره‌ساز نیستند زیرا که یا تحلیلی برای آن‌ها وجود ندارد (یا حل تحلیلی بسیار مشکل دارند) و یا دربردارنده‌ی متغیرها و پارامترهای بسیاری می‌باشد که مهندس را با انبوهی از راه‌حل‌ها و نه لزوماً جواب مسأله درگیر می‌سازد. الگوریتم‌های تکاملی روش‌های بر مبنای جستجوی تصادفی هستند که از مدل‌سازی تکامل زیست‌شناسی طبیعی، الگوبرداری شده است. آن‌ها بر روی پاسخ‌های ممکن کار می‌کنند که از ویژگی برتری برخوردار و نیز بقای نسل بیشتری دارند، لذا تخمین نزدیک‌تری از پاسخ بهینه بدست می‌دهند. (کالیانموی، ۱۳۸۷)

¹ Non-dominated

² Pareto optimal

³ Pareto efficient

⁴ Non-dominated Sorting Genetic Algorithm

⁵ Strength Pareto Evolutionary Algorithm

⁶ Evolutionary Algorithm

بهینه‌سازی میانگین-واریانس^۱: روش‌های متعددی با هدف کمینه کردن ریسک و بیشینه نمودن بازدهی سرمایه برای تشکیل سبد سهام بهینه ارائه شده است. در این مورد هری مارکوویتز^۲ نظریه‌ی مدرن بهینه‌سازی سبد سهام را به صورت فرمول ریاضی بیان کرد. در مدل میانگین-واریانس طراحی شده توسط مارکوویتز میانگین، بازده مورد انتظار و واریانس که بیانگر ریسک پورتفوی است، مشخص شده است. در این مدل دو عامل واریانس و همبستگی بازده دارایی‌ها که عوامل تعیین‌کننده‌ی کوواریانس بازده‌ها هستند عوامل اساسی در تعیین اوزان بهینه‌ی پورتفوی می‌باشند. (یوسفی، ۱۳۹۳)

الگوریتم NSGA-II^۳: نوعی الگوریتم بهینه‌سازی می‌باشد که با استفاده از فرآیند ژنتیکی و تکرارهای متعدد، نقاط بهینه بر روی مرز کارا را پیدا می‌نماید. در این الگوریتم ابتدا جمعیت اولیه به صورت تصادفی تولید می‌گردد و با استفاده از رنک‌بندی^۴ و فاصله‌ی ازدحامی^۵، کیفیت و نظم قرار گرفتن نقاط مشخص می‌گردد. همچنین بهبود جواب‌ها از طریق جهش^۶ و تقاطع^۷ صورت می‌پذیرد. (کالیانموی، ۱۳۸۷)

الگوریتم SPEA2^۸: این الگوریتم نوعی الگوریتم بهینه‌سازی برای مسائل چندهدفه می‌باشد که با استفاده از فرآیند تکاملی و تکرارهای متعدد، نقاط بهینه بر روی مرز کارا را پیدا می‌کند. این کار توسط تولید جمعیت اولیه به صورت تصادفی و با استفاده از تابع برازش^۹ انجام می‌گیرد. لازم به ذکر است که بهبود جواب‌ها از طریق تقاطع و جهش انجام می‌پذیرد. (کالیانموی،

(۱۳۸۷)

^۱ Mean-variance optimization

^۲ Harry Markowitz

^۳ Non-dominated Sorting Genetic Algorithm

^۴ Rank

^۵ Crowding distance

^۶ Mutation

^۷ Crossover

^۸ Strength Pareto Evolutionary Algorithm

^۹ Fitness function

الگوریتم PESA-II^۱: نوعی الگوریتم بهینه‌سازی می‌باشد که با استفاده از فرآیند تکاملی و تکرارهای متعدد، نقاط بهینه یا همان جبهه‌ی پارتو را پیدا می‌کند. این کار توسط تولید جمعیت اولیه‌ی تصادفی و سپس خانه‌بندی^۲ جواب‌های به دست آمده انجام می‌پذیرد. انتخاب اعضا برای تقاطع و جهش نیز به صورت تصادفی برای بهبود جواب‌ها صورت می‌گیرد. (کالیانموی، ۱۳۸۷)

^۱ Pareto Envelope-based selection Algorithm

^۲ Grid

فصل ۲: مروری بر مطالعات انجام شده

سبد سهام ترکیبی از دارایی‌هاست که سرمایه‌گذار قرار است در آن سرمایه‌گذاری کند و بهینه‌سازی سبد به مفهوم انتخاب ترکیبی از دارایی‌هاست که می‌تواند در کنار بیشینه کردن بازده، ریسک را به‌طور هم‌زمان کمینه کند. بهینه‌سازی سبد سهام از مهم‌ترین مسائل حوزه‌ی سرمایه‌گذاری به حساب می‌آید. به کمک مدلی اولیه که به مدل میانگین-واریانس شهرت یافته است، مارکوویتز توانست مفهوم سبد سهام کارا را ارائه کند. اهمیت تعریف این موضوع از آن جهت بود که همواره برای سرمایه‌گذاری، سبد سهامی کاراست که حداقل ریسک در ازای بازده معین و یا به‌طور معادل حداکثر بازده در ازای ریسکی معین را داشته باشد.

تئوری پورترفوی که توسط مارکوویتز ارائه و بعدها توسط شاگردان وی شارپ^۱ و لینتر^۲ توسعه داده شد از ابتدای دهه‌ی ۵۰ به بعد به‌عنوان ایده‌های قابل قبول و اثرگذار برای تحقیقات بعدی دانشمندان و پژوهشگران مالی مطرح شدند. اصول این تئوری‌ها در بازارهای مالی نیز راهنمای عمل مدیران سرمایه‌گذاری‌ها و سایر فعالان بازار قرار گرفت. اما پیچیدگی-های بازارهای مالی و مطالعاتی که در پی نتایج ناشی از تحقیقات اجرائی انجام شده در بازارهای مالی پیش آمد، دانشمندان را برآن داشت ایده‌های جدیدی را ارائه داده و به انجام تحقیقات جدیدی در این راستا بپردازند.

تحقیقات متعددی در زمینه‌ی تشکیل سبد سهام در بورس اوراق بهادار انجام شده و در بیشتر مدل‌های ارائه شده معیار بازده و ریسک از مباحث مالی برگرفته شده است. نظریه‌ی مارکوویتز راه‌حلی جهت تخصیص سرمایه ارائه می‌کند اما در بازارهای سرمایه که با تعداد زیادی سرمایه‌ی مختلف مواجه هستیم سرمایه‌گذاری با انبوهی از اطلاعات روبرو بوده و در نتیجه انتخاب برای آنها دشوار می‌باشد. درواقع زمانی که محدودیت‌هایی مثل تعداد زیاد

¹ Sharp

² Linter

سرمایه، مقادیر وزنی سهام و.. مطرح می‌شوند فضای جستجو آنقدر گسترش می‌یابد که در نتیجه استفاده از مدل‌های ریاضی ناممکن شده، از اینرو الگوریتم‌هایی مانند الگوریتم‌های تکاملی جایگاه ویژه‌ای می‌یابد.

در این فصل ابتدا به تشریح مبانی نظری تحقیق شامل تعاریف پورتفوی، مدل مارکوویتز، بهینه‌سازی، الگوریتم‌های تکاملی چندهدفه و... می‌پردازیم و در بخش دوم پیشینه‌ی پژوهش‌های خارجی و داخلی ارائه می‌گردد.

۲-۲ چارچوب نظری تحقیق

مسأله‌ی انتخاب سبد بهینه برای نخستین بار توسط مارکوویتز مطرح شد. وی ثابت کرد تنوع بخشی در انتخاب سهام و تشکیل سبد، ریسک آن را برای سرمایه‌گذار کاهش می‌دهد. اما دلایل به‌کارگیری هرچه بیشتر الگوریتم‌های تکاملی به جای مدل مارکوویتز در مسائل کنونی انتخاب پورتفوی، دراینست که در حل مدل مارکوویتز از راه‌حل‌ها و مدل‌های ریاضی استفاده می‌شود. مشخص است که مدل‌های ریاضی بسیاری از محدودیت‌های جهان واقعی را دربرنمی‌گیرد، مثل تعداد زیاد سرمایه یا مقادیر وزنی سهام. این عوامل که اضافه می‌شوند فضای جستجو نیز بزرگ می‌شود و هم ناپیوسته، درنتیجه در عمل، استفاده از مدل ریاضی امکان‌پذیر نیست. اگر این محدودیت‌ها را نادیده بگیریم قطعاً جواب‌های ما به دنیای واقعی نزدیک نخواهد بود. الگوریتم‌های تکاملی در این جا جایگاه می‌یابند چرا که این الگوریتم‌ها از طبیعت گرفته - شده و قادرند این محدودیت‌ها را دربرگیرند.

رویکر مارکوویتز برای انتخاب پورتفوی با این فرض شروع شد که شخص مقدار مشخصی پول برای سرمایه‌گذاری در اختیار دارد و این مبلغ را برای مدت معینی که دوره‌ی نگهداری اوراق نامیده می‌شود سرمایه‌گذاری خواهد کرد. در انتهای دوره‌ی نگهداری، اوراق بهاداری که ابتدای دوره خریداری کرده است را می‌فروشد، پس مبلغ موردنظر را مصرف یا سرمایه‌گذاری مجدد خواهد کرد. بنابراین رویکرد مارکوویتز یک رویکرد تک دوره ای است که در آن آغاز دوره با $t=0$ و انتهای دوره با $t=1$ نمایش داده می‌شود. در $t=0$ سرمایه‌گذار باید تصمیم بگیرد کدام اوراق بهادار را خریداری و تا $t=1$ نگهداری کند. در رویکرد سنتی سرمایه‌گذار باید بازده مورد انتظار اوراق را در زمان $t=0$ تخمین بزند و سپس در اوراقی با بیشترین بازده مورد انتظار سرمایه‌گذاری کند. مارکوویتز می‌گوید این تصمیم غیرعقلایی است زیرا سرمایه‌گذار علاوه بر حداکثرسازی بازده مورد انتظار تا حد ممکن خواستار مطمئن بودن بازدهی نیز می‌باشد،

بنابراین سرمایه‌گذار باید در پی متعادل کردن این هدف (حداکثرسازی بازده مورد انتظار و کاهش عدم اطمینان سرمایه‌گذاری) باشد. (شارپ، ۲۰۰۶)

۳-۲ مبانی نظری تحقیق

۳-۲-۱ نظریه‌ی پورتفوی

در یک رویکرد کلی نظریه‌های مربوط به تشکیل سبد سهام را می‌توان به دو گروه مدرن و فرامدرن تقسیم‌بندی کرد. نظریه‌ی مدرن پورتفوی با مقاله‌ای با عنوان انتخاب پورتفوی توسط هری مارکوویتز در سال ۱۹۵۲ معرفی شده است. ۳۸ سال بعد، مارکوویتز همراه با مرتون میلر^۱ و شارپ جایزه‌ی نوبل را برای آن چه "نظریه‌ی گسترده‌ی انتخاب پورتفوی" نامیده می‌شود، دریافت کرد. وی شیوه‌ی میانگین-واریانس را در قالب تئوری سبد سهام تبیین نمود. این تئوری بعدها پایه و اساس تئوری‌های بعد از خود شد، به‌طوری‌که به واسطه‌ی این مدل، ریسک برای اولین بار به معیار کمی تبدیل گردید. در این زمان توصیه‌ی سرمایه‌گذاری استاندارد، بنابراین بود که سرمایه‌گذار، اوراق بهادار را با بهترین بازده و کمترین ریسک شناسایی و سبد سهام متشکل از آن‌ها را انتخاب کند. با پیروی از این توصیه، ممکن بود یک سرمایه‌گذار به این نتیجه برسد که تمامی سهام یک شرکت خاص، دارای مشخصات ریسک و بازدهی خوب است و باید کل سبد سهام خود را از آن پرکند. از نظر منطقی این کار مناسب نیست. مارکوویتز این منطق را فرمول‌بندی و نظام‌مند کرد. او با تشریح جزئیات ریاضی متنوع‌سازی سبد سهام را پیشنهاد نمود که سرمایه‌گذار به جای انتخاب پورتفوی متشکل از سهامی که به صورت انفرادی دارای مشخصات مناسب ریسک و بازده هستند، بر انتخاب سبد سهامی بر مبنای مشخصات کلی ریسک و بازده آن متمرکز شوند.

¹ Merton Miller

هانچ و لیوی^۱ در سال ۱۹۶۹ نشان دادند که مدل میانگین واریانس به لحاظ کارایی یک مدل معتبر بوده و این اعتبار کارایی، تنها در زمانی برای هر نوع تابع مطلوبیت سرمایه‌گذاران صادق است که تابع توزیع احتمالات نرخ بازده از ویژگی توزیع نرمال برخوردار باشد. (هانچ، لوی، ۱۹۶۹)

کالبرگ و زیмба^۲ در سال ۱۹۸۳ نشان دادند که سبد اوراق بهاداری که به لحاظ درجه‌ی ریسک‌گریزی سرمایه‌گذاران یکسان است، دارای ساختار یکسانی نیز می‌باشد. از اینرو می‌توان تجزیه و تحلیل میانگین-واریانس را منطبق با توابع مطلوب سرمایه‌گذاری دانست. (کالبرگ، زیмба، ۱۹۸۳)

جیمز توبین^۳ در سال ۱۹۸۵ با افزودن دارایی بدون ریسک، کار مارکوویتز را توسعه داد. با این تحلیل که برای شخص سرمایه‌گذار این امکان را فراهم ساخت از طریق خاصیت اهرمی، سبدهای سهام موجود بر روی خط بازار سرمایه قادرند فراتر از سبدهای سهام موجود بر مرز کارایی عمل کنند. شارپ مدل قیمت‌گذاری دارایی‌های سرمایه را توسعه داد که منجر به فرضیات قوی و نتایج جالب توجهی شد. (توبین، ۱۹۸۵)

روش تئوری مدرن پورترفوی که ابتدا توسط مارکوویتز به صورت عملی بیان شد براساس یک سری مفروضات خاصی است که اهم آن گویای اینست که بازار کارا است برخی از مفروضات به شرح زیر مطرح می‌گردند:

✓ سرمایه‌گذاران برای هر طرح سرمایه‌گذاری به توزیع احتمالی بازده‌های مورد انتظار در طول دوره‌ی نگهداری توجه می‌کنند.

¹ Hanoch & Levy

² Kallberg & Ziemba

³ Jimz & Tubin

✓ سرمایه‌گذاران مطلوبیت خود را طی دوره‌ی زمانی مورد انتظار حداکثر کرده و منحنی بی تفاوتی آن‌ها شیب منفی دارد.

✓ پایه و اساس تصمیمات سرمایه‌گذاران را ریسک و بازده مورد انتظار تشکیل می‌دهد.

✓ سرمایه‌گذاران در سطح معینی از ریسک بازدهی بالاتر را به بازدهی پایین‌تر ترجیح می‌دهند و همچنین در سطح معینی از بازده مورد انتظار، ریسک کمتر را به ریسک بیشتر ترجیح می‌دهند.

مبنای این روش بر پایه‌ی این استوار است که احتمال خطر از دست دادن سرمایه یا سود یک نوع سهام در بازار بیشتر از مجموعه یا ترکیب سهام است. لذا قاعدتا سرمایه‌گذار حرفه‌ای نباید تمامی سرمایه‌ی خود را در یک قلم دارایی سرمایه‌گذاری کند بلکه باید آن را در تعدادی متشکل از سهام متعدد یا دارایی‌هایی سرمایه‌گذاری کند که این مجموعه به پورتفوی معروف است. پورتفوی یا سبد سهام مجموعه‌ی متشکل از سهام متعدد است که سرمایه‌گذار قرار است در آن سرمایه‌گذاری کند و بهینه‌سازی سبد به مفهوم انتخاب ترکیبی بهینه از دارایی‌هاست که می‌تواند در کنار بیشینه کردن نرخ بازده مورد انتظار، ریسک نرخ بازده را به طور همزمان کمینه کند.

در روش پورتفوی مدرن مجموعه تلاش‌ها وقف این است که بازده فرد سرمایه‌گذار به بازده بازار نزدیک باشد و در وضعیت مطلوب بازدهی بیشتر از آن بدست آید. در این حالت پورتفوی کل بازار یک شاخص ارزیابی است که ریسک آن نیز با شاخص بتا محاسبه می‌گردد.

این تحلیل کاربرد زیادی در آنالیز ریسک و تحلیل بازار دارد و مبنای کار سرمایه‌گذاران حرفه‌ای می‌باشد.

۲-۳-۲ مدل میانگین - واریانس^۱

یک سرمایه‌گذار پول‌های خود را در سهامی سرمایه‌گذاری می‌کند که بیشترین مقدار ممکن از بازده آنها به دست آورد. او همچنین علاقه دارد که میزان پراکندگی و انحراف از بازده سبد سهام‌اش کمترین مقدار را دارا باشد. برای اندازه‌گیری ریسک اوراق بهادار، از واریانس بازده‌های مورد انتظار استفاده می‌شود. در ابتدا مارکوویتز (۱۹۵۲) انتخاب سبد سهام را با استفاده از واریانس برای اندازه‌گیری مقدار ریسک نشان داد. روش ارائه شده توسط او به روش میانگین - واریانس مشهور است. مدل مارکوویتز بیشترین مقدار بازده مورد انتظار و کمترین مقدار واریانس را به طور همزمان در نظر می‌گیرد. مفروضات اساسی مارکوویتز مبنای مدل او را شکل می‌دهد، اینکه سرمایه‌گذاران بازده را مطلوب دانسته و از ریسک گریزان هستند. به علاوه آنها، در تصمیم‌گیری منطقی عمل می‌کنند و تصمیماتی را اتخاذ می‌کنند که باعث حداکثر بازده مطلوب آنها می‌شود. بنابراین مطلوبیت سرمایه‌گذاران، تابعی است از بازده مورد انتظار و ریسک که این دو عامل، پارامترهای اساسی تصمیمات مربوط به سرمایه‌گذاری هستند.

این روش به گسترش پورترفوی با در نظر گرفتن بازده مورد انتظار یکسان و کاهش ریسک کمک می‌کند. در این روش تخمین دقیق مقدار بازده مورد انتظار و کوواریانس سهام برای انتخاب سبد سهام مورد نیاز است. سرمایه‌گذاران می‌توانند از طریق مشخص کردن نرخ بازده مورد انتظار سبد سهام و حداقل کردن ریسک سبد سهام در این سطح بازده، سبد بهینه و مطلوب خود را تشکیل دهند.

از طرفی، ترکیبات مختلفی از بازده مورد انتظار و واریانس سبد سهام مطلوب تشکیل خطی را در نمودار می‌دهند که به مرز کارا معروف است. زیرا هریک از این نقاط بهترین سناریوی ممکن را برای بازده مورد انتظار و واریانس خاص بیان می‌کنند.

¹ Mean-variance

۲-۳-۳ ریسک و بازده

زیان بالقوه‌ی قابل اندازه‌گیری یک سرمایه‌گذار را ریسک می‌نامند. ریسک به معنی شانس و احتمال آسیب و یا زیان و ضرر تعریف شده و تعریف مالی و مقداری ریسک توزیع احتمال بازده هر سرمایه‌گذاری می‌باشد. در فرهنگ مدیریت راهنما، در تعریف ریسک آمده است: ریسک عبارتست از هرچیزی که حال یا آینده‌ی دارایی یا توان کسب درآمد شرکت، موسسه و یا سازمانی را تهدید می‌کند. جان فردریک وستون و یوجین بریگام^۱ در تعریف ریسک یک دارایی می‌نویسند: ریسک یک دارایی عبارت است از تغییر احتمالی بازده آتی ناشی از آن دارایی. نیکلز^۲ مفهوم ریسک را از ابعاد مختلف مدنظر قرار داده و آن را از نظر مفهومی به دو دسته تقسیم می‌کند. وی معتقد است واژه‌ی ریسک به احتمال ضرر، درجه‌ی احتمال ضرر، و میزان احتمال ضرر اشاره دارد. در این راستا ریسک، احتمال خطر، احتمال سود و هم احتمال زیان را دربرمی‌گیرد. درحالی‌که ریسک خالص صرفاً احتمال زیان را دربرمی‌گیرد و شامل احتمال سود نمی‌شود. (وستون، بریگام، ۱۳۷۷)

هر نوع سرمایه‌گذاری با عدم اطمینان‌هایی مواجه می‌گردد که بازده سرمایه‌گذاری را در آینده مخاطره‌آمیز می‌سازد. ریسک یک دارایی سرمایه‌ای بدین خاطر است که این احتمال وجود دارد که بازده حاصل از دارایی کمتر از بازده مورد انتظار است. بنابراین ریسک عبارت است از احتمال تفاوت بین بازده واقعی و بازده پیش‌بینی شده و یا می‌توان گفت ریسک یک دارایی عبارت است از تغییر احتمالی بازده آتی ناشی از آن دارایی. بنابراین با معیار پراکندگی بازده دارایی، ریسک را می‌توان انحراف معیار نرخ بازده تعریف نمود. پس می‌توان پراکندگی بازده‌های ممکنه از بازده مورد انتظار را با واریانس محاسبه و به عنوان یک معیار از ریسک تلقی نمود.

¹ John Fredrick Weston & Ujin Brigam

² Niklez

تا دهه‌ی ۱۹۴۰ ریسک یک مفهومی کیفی بود ولی از دهه‌ی ۱۹۴۰ و مخصوصاً با کارهای مارکوویتز در دهه‌ی ۱۹۵۰ ریسک یک مفهوم کمی پیدا کرد. ابتدا، واریانس جریان‌های نقدی در شرایط مختلف اقتصادی را به عنوان شاخص ریسک معرفی کردند و بعدها از ضریب تغییرات به عنوان شاخص نسبی ریسک نام بردند. از دهه‌ی ۱۹۶۰ به بعد از عامل بتا به عنوان ریسک نام برده شده است.

به منفعت و سودی که از یک سرمایه‌گذاری حاصل می‌شود بازده گویند. سرمایه‌گذاری عبارت است از تخصیص منابع به دارایی‌های واقعی و دارایی‌های مالی نظیر اوراق بهادار که میزان بازده آن متناسب با ریسک مورد انتظار است.

۲-۳-۴ بهینه‌سازی^۱

بدست آوردن بهترین نتیجه‌ی ممکن برای یک مسأله با توجه به شرایط حاکم بر آن را بهینه‌سازی گویند. مشخصه‌ی ذاتی انسان‌ها و دیگر موجودات، تمایل به انجام کارها و فعالیت‌ها با کمترین زحمت و نائل شدن به بیشترین سود و منفعت می‌باشد که همین مشخصه، دلیل اصلی دغدغه‌ی بشر در افزایش بهره‌وری و بازدهی فعالیت‌های خود در برابر منابع نسبتاً محدود طبیعت بوده است. بهینه‌سازی را می‌توان به عنوان فرایند یافتن شرایطی که مقدار بیشینه و یا کمینه‌ی یک تابع را بدست می‌دهد، تعریف نمود. از آنجایی که برای حل مناسب همه‌ی مسائل موجود در بهینه‌سازی روش یکتایی وجود ندارد، روش‌های متنوعی از بهینه‌سازی برای حل مسائل مختلف بهینه‌سازی پدید آمده‌اند. (باوری و صالحی، ۱۳۸۷)

از دهه‌ی ۱۹۶۰ به بعد، حل مسائل بهینه‌سازی با الگوبرداری از مخلوقات زنده طرفداران خاصی پیدا کرد. این تکنیک‌ها وقتی در حل مسائل پیچیده‌ی دنیای واقعی به کار بروند، ناکارآمدی روش‌های معمول را نشان می‌دهند.

^۱ Optimization

هدف از بهینه‌سازی یافتن بهترین جواب قابل قبول، با توجه به محدودیت‌ها و نیازهای مسأله است. برای یک مسأله، ممکن است جواب‌های مختلفی موجود باشد که برای مقایسه‌ی آن‌ها و انتخاب جواب بهینه، تابعی به نام تابع هدف تعریف می‌شود. انتخاب این تابع به طبیعت مسأله وابسته است.

مسأله‌ی بهینه‌سازی در واقع یافتن جواب یا جواب‌هایی بر روی یک مجموعه از گزینه‌های امکان پذیر (رعایت قیود مسأله) با هدف بهینه کردن معیار یا معیارهای مسأله است. دو نوع بهینه‌سازی وجود دارد: (۱) بهینه‌سازی تک‌هدفه، (۲) بهینه‌سازی چندهدفه.

مسأله‌ی بهینه‌سازی چندهدفه زیر شاخه‌ای از روش‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره^۱ است که در میان مجموعه‌ی نامحدودی از جواب‌های محتمل صورت می‌گیرد.

مسأله‌ی بهینه‌سازی چندهدفه برخاسته از روش‌های تصمیم‌گیری در دنیای واقعی است که شخص تصمیم‌گیرنده با مجموعه‌ای از اهداف و معیارهای متضاد و متعارض روبروست.

در این گونه مسائل بر خلاف مسائل بهینه‌سازی تک هدفه و بخاطر وجود چند هدف متعارض به جای تنها یک جواب، مجموعه‌ای از جواب‌ها حاصل می‌شود.

هدف از بهینه‌سازی چندهدفه یافتن مجموعه جواب‌های پارتو (نامغلوب) مسأله‌ی مورد نظر است.

در بهینه‌سازی تک‌هدفه، راه‌حل بهینه معمولاً به خوبی و وضوح، قابل تعریف است، اما در بهینه‌سازی چندهدفه نمی‌توان تنها یک راه حل را به عنوان بهترین جواب مسأله معرفی کرد. در این گونه مسائل باید مجموعه‌ای از راه‌حل‌ها را که هر یک از اهداف را در سطح قابل قبولی برآورده می‌سازند، به عنوان مجموعه جواب بهینه معرفی کرد.

^۱ Multi-criteria decision making (MCDM)

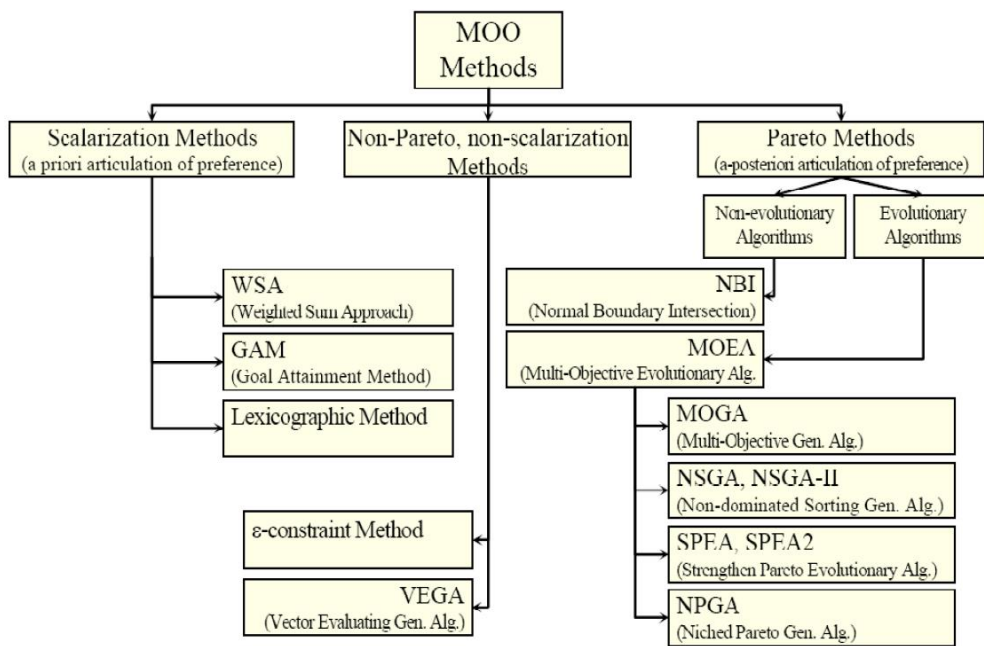
درحالی که در دنیای واقعی نیازمند بهینه‌سازی هم‌زمان چندین هدف و دستیابی به چندین معیار متضاد هستیم، معمولاً برای پیدا کردن جواب‌های مسائل چندهدفه، از ترکیب اهداف برای بهینه‌سازی استفاده می‌شود.

درحالی که این‌گونه مسائل باید به صورت چندهدفه مورد بررسی قرار گیرند. برخلاف بهینه‌سازی تک‌هدفه که در آن جواب بهینه‌ی واحد جستجو می‌شود، در مسائل چندهدفه، به دلیل تبادل بین اهداف متضاد جواب بهینه‌ی واحدی وجود ندارد و باید چندین جواب بهینه که مجموعه غیرمغلوب نامیده می‌شود را جستجو نمود.

روش‌های بهینه‌سازی چندهدفه عموماً به دو دسته‌ی روش‌های کلاسیک و الگوریتم‌های تکاملی طبقه‌بندی می‌شوند. الگوریتم‌های جستجو و بهینه‌یابی که از یک جواب واحد استفاده کرده و در هر تکرار آن را بهنگام می‌نمایند و از قاعده‌ای مشخص برای تبدیل استفاده می‌نمایند روش‌های کلاسیک می‌نامند. روش‌های مجموع وزنی و برنامه‌ریزی آرمانی از این جمله‌اند. روش‌های کلاسیک در همگرایی به جواب بهینه به جواب ابتدایی وابسته‌اند. همچنین در مسائلی که فضای جستجو گسسته است، این روش‌ها فاقد کارایی‌اند. از اینرو الگوریتم‌های تکاملی که می‌توانند برخی از مشکلات کلاسیک را برطرف نمایند به طور فزاینده‌ای جانشین این روش‌ها در حل مسائل عملی شده‌اند. (کالیانموی، ۱۳۸۷)

شکل ۱-۲ دسته‌بندی روش‌های بهینه‌سازی چندهدفه را نشان می‌دهد. (علی زنگنه،

زمستان ۹۰)



شکل ۱-۲ دسته‌بندی روش‌های بهینه‌سازی چندهدفه

۲-۳-۵ الگوریتم‌های چندهدفه

با توجه به این حقیقت که اکثر مسائل مورد بحث در طبیعت اهداف بسیاری (که ممکن است با یکدیگر ناهمخوان باشند) را شامل می‌گردند و برای حل این دسته از مسائل تمامی این اهداف می‌بایست برآورده گردند، حل نمودن این مسائل به کمک الگوریتم‌های تک‌هدفه خالی از ایراد نمی‌باشد. مشکل عمده در حل این مسائل به کمک الگوریتم‌های تک‌هدفه همانا روند در نظر گرفتن یکی از اهداف به عنوان هدف اصلی و تبدیل بقیه‌ی اهداف به محدودیت می‌باشد. با استفاده از الگوریتم‌های چندهدفه، می‌توان به طور همزمان و موازی به تمامی اهداف مورد نظر پرداخت. از آنجایی که مدل مارکوفیتز دارای دو تابع هدف مینی‌م ریسک و ماکزیمم بازده می‌باشد، حل کردن مسأله‌ی پورتفوی با در نظر گرفتن دو تابع هدف به صورت مجزا به کمک الگوریتم‌های چندهدفه امکان‌پذیر می‌باشد، بنابراین ما در این تحقیق می‌خواهیم از الگوریتم‌های تکاملی چندهدفه برای حل مسأله‌ی پورتفوی استفاده کنیم.

الگوریتم‌های تکاملی^۱، از اصول تکامل طبیعی برای جستجوی جواب بهینه تقلید می‌کنند و دارای دو عملیات مشخص انتخاب و جستجو هستند. این الگوریتم‌ها از اصول معینی استفاده نمی‌کنند و ساختار خاصی در حل یک مسأله ندارند. هنگامی که پیچیدگی مسأله مانع به کارگیری روش‌های دقیق برای پیدا نمودن تقریب مجموعه پارتو شده باشد، الگوریتم‌های تکاملی چندهدفه اهمیت می‌یابند. از آنجا که این الگوریتم‌ها کمترین وابستگی را به شکل و فرمول‌بندی مسأله دارند، می‌توان به راحتی اهدافی را اضافه، حذف یا اصلاح نمود. به علاوه این الگوریتم‌ها با جمعیتی از جواب‌ها کار می‌کنند، بنابراین می‌توانند مجموعه پارتو را به خوبی تقریب بزنند.

¹ Evolutionary Algorithm

الگوریتم‌های تکاملی (EA) به عنوان راه‌حل مفیدی برای بهینه‌سازی شناخته شده‌اند، زیرا اغلب برخلاف روش‌های کلاسیک در ریاضیات کاربردی مسائل بهینه‌سازی را به همان شکلی که هستند مورد حل قرار می‌دهند.

امروزه، الگوریتم‌های تکاملی از قبیل استراتژی‌های تکاملی و الگوریتم ژنتیک برای حل مسائل پیچیده‌ای که توسط روش‌های دقیق مانند برنامه‌نویسی خطی به راحتی قابل حل نیستند به طور گسترده به کارگرفته می‌شوند. (شاکر^۱، ۲۰۰۱)

درواقع میزان بالای اشتیاق محققین برای به‌کارگیری الگوریتم‌های تکاملی ناشی از مزایای چشمگیر آن‌ها به نسبت روش‌های عادی می‌باشد. عمده‌ی این مزایا عبارتند از:

- عدم نیاز به داشتن آگاهی گسترده در مورد اجزا مسأله برای به‌کارگیری الگوریتم‌های

تکاملی

- راحتی به‌کارگیری این الگوریتم‌ها

درواقع برای حل مسأله‌ای خاص به روش تکاملی کفایت بتوان تابع برازش را برای تعدادی از پارامترها محاسبه نمود. با درنظر گرفتن این الگوریتم‌ها انعطاف‌پذیری، راحتی کاربرد آن‌ها و برازش آنها در محاسبات موازی، الگوریتم‌های تکاملی معمولاً در زمان کمتری به نسبت الگوریتم‌های دقیق به جواب بهینه می‌رسند. در واقع الگوریتم‌های تکاملی در هر تکرار یا هر نسل پردازش‌های خاصی بر روی جواب‌های جمعیت انجام می‌دهند که به EA قدرت حل بهینه‌سازی را می‌دهد.

¹ Ruhul Sarkar

۴-۲ پیشینه‌ی تحقیق

۱-۴-۲ مروری بر پژوهش‌های خارجی

با توجه به این که تحقیقات متعددی در زمینه‌ی بهینه‌سازی سبد سهام صورت گرفته، بنابراین ما به برخی از این تحقیقات مرتبط اشاره خواهیم نمود.

از آن جا که سرمایه‌گذاران نشان داده بودند سبد سهامی را ترجیح می‌دهند که تعداد دارایی محدودی را دربرداشته باشد، یکی از محدودیت‌های سرمایه‌گذاران واقعی با عنوان "محدودیت تعداد دارایی موجود در سبد" به مدل‌ها اضافه شد.

پژوهش‌هایی نیز محدودیت‌های واقعی را به مدل‌های اولیه افزودند. از جمله‌ی آنها محدودیت حداقل یا حداکثر میزان سرمایه در یک دارایی بود که بیل وفارست^۱ (۱۹۷۶) به آن پرداختند.

چنگ در سال ۲۰۰۰ نشان داد پژوهش‌های بسیاری برای به‌کاربردن الگوریتم‌های فراابتکاری انجام شده است. پژوهش‌های پیشین نشان دادند که الگوریتم‌های فراابتکاری توانسته‌اند با دقت مناسب نسبت به راه‌حل دقیق ریاضی مسأله، به حل آن بپردازد.

زیتزلر، دب و تیل^۲ در سال ۲۰۰۰، مقاله‌ای تحت عنوان الگوریتم تکاملی مبتنی بر شدت پارتو^۳ را ارائه کردند. در این مقاله عملکرد بسیار عالی این الگوریتم در مقایسه با دیگر الگوریتم‌های تکاملی چندهدفه نشان داده شده است.

دیوید و کورن^۴ در سال ۲۰۰۰ به توصیف یک الگوریتم تکاملی چندهدفه تحت عنوان الگوریتم تکاملی مبتنی بر الگوی پارتو^۵ پرداختند که این الگوریتم شامل ایده‌ای از هر دو

¹ Bill & Farest

² Zitzler , Deb, Thiele

³ Strength Pareto Evolutionary Algorithm (SPEA)

⁴ David & Corn

⁵ Pareto Envelope-based Selection Algorithm (PESA)

الگوریتم SPEA و PAES می‌شود و در مقایسه با هر یک از این روش‌های جدید عملکرد نسبتاً بهتری را نشان می‌دهد.

در سال ۲۰۰۱، لاهاناس، میلیکوویک و بالتاس^۱ مقاله‌ای ارائه کردند و به تشریح گسترده‌تر از الگوریتم تکاملی مبتنی بر شدت پارتو پرداختند. آن‌ها در این مقاله فرآیند استراتژی تخصیص برازش^۲ و روش تخمین چگالی را نیز بیان کردند.

دب و سرینیواس^۳ در سال ۲۰۰۱ در مقاله‌ای به معرفی الگوریتم ژنتیک با مرتب‌سازی نامغلوب^۴ که از جمله‌ی اولین الگوریتم‌های تکاملی چندهدفه بود، پرداختند.

کراما و اسکینز^۵ (۲۰۰۳)، برای مدل‌سازی سبد سهام کارا تحت محدودیت‌های واقعی، از شبیه‌سازی تبریدی استفاده کردند. دریگز و نیکل^۶ (۲۰۰۳) نیز به طور همزمان کاری مشابه با آن ارائه کردند که تفاوت آن با پژوهش کراما در نوع محدودیت‌های مفروض در مسأله بود.

مارینگر و کالر^۷ (۲۰۰۳) با ارائه‌ی رویکردی که از ترکیب الگوریتم متاهیوریستیک شبیه‌سازی تبریدی و نظریه‌ی تکاملی به دست آمده بود، مسأله‌ی سبد سهام کارا را با جایگزین کردن دارایی‌های بهتر در سبد سهام حل کردند.

یانگ^۸ (۲۰۰۶) نیز در تحقیقی با عنوان "بهبود کارایی سبد سهام شیوه‌ای از الگوریتم ژنتیک"، الگوریتم ژنتیک را در کنار یک سیستم پویای بهینه‌سازی پورتهوی جهت توسعه‌ی کارایی سبد سهام به کار برد.

¹ Lahanas , Milikovic & Baltas

² Fitness assignment

³ Deb & Srinivas

⁴ Non-dominated Sorting Genetic Algorithm (NSGA)

⁵ Kramer & Skinz

⁶ Drigz & Nikle

⁷ Maringer & Kler

⁸ Yung

رودییر^۱ (۲۰۰۷) در رساله‌ای ارشد تحت عنوان بهینه‌سازی پورنفوی و الگوریتم ژنتیک، به دنبال دستیابی به روش‌هایی با قدرت، جهت بهینه‌سازی پورنفوی می‌باشد.

لین و ژن^۲ (۲۰۰۷) در تحقیقی یک الگوریتم ژنتیک دو مرحله‌ای را برای حل مسأله‌ی بهینه‌سازی سبد سهام چندمنظوره به کار بردند. آن‌ها با در نظر گرفتن مدل مارکوفیتز به عنوان مدل ریاضی پایه، به دنبال حداکثر نمودن بازده و حداقل نمودن ریسک سرمایه‌گذاری بودند. آن‌ها در تحقیق خود پس از حداکثر سازی بازده و حداقل نمودن ریسک، به دنبال وزن‌دهی به سهام مورد نظر برآمدند، تا از این طریق اهمیت نسبی اهداف گوناگون را در سبد سهام مورد نظر قرار دهند. عملگرهای مورد استفاده در این تحقیق، عملگر تقاطع یک نقطه برش، عملگر جهش و عملگر انتخاب چرخ رولت بود. نتایج تحقیق اعتبار و کارایی الگوریتم مربوطه در بهینه‌سازی سبد سهام را نشان داد.

در سال (۲۰۰۸) لین و لیو، مدل مارکوفیتز را با محدودیت حداقل مقدار خرید به سه طریق مدل نمودند. الگوریتم‌های ژنتیکی که برای حل مسأله‌ی انتخاب سبد سهام پیشنهاد می‌شوند، به وسیله‌ی مدل‌ها فرمول‌بندی شدند. نتایج مطالعات نهایی نشان دادند که الگوریتم‌های ژنتیک برای این مدل‌ها می‌توانند نقطه‌ی نزدیک به بهینه در حداقل زمان قابل قبول را به دست آورند. راه‌حل‌های به دست آمده نه تنها قابل اجرا در عمل می‌باشند، بلکه بالاترین کارایی میانگین-واریانس را به نمایش می‌گذارند. مدلی که یک شیوه‌ی تصمیم‌گیری چندهدفه را معرفی می‌کند، به خاطر تطبیق‌پذیری و سادگی زیاد آن پیشنهاد می‌شود. با این شیوه تصمیم‌گیرنده قادر خواهد بود ترجیحات خود در خصوص ریسک و بازده را با اختصاص وزن‌هایی به ریسک و بازده اعمال نماید. بررسی سرمایه‌ها و دارایی‌ها نه تنها در وقت محاسبه صرفه‌جویی می‌کند، بلکه باعث می‌شود کیفیت جواب نیز بهبود یابد.

¹ Roudier

² Lin & Jen

دنگ یی^۱ در سال ۲۰۰۸، برای رفع محدودیت‌های توابع مورد استفاده‌ی تعیین سبد سهام نظیر مشکل و زمان‌بر بودن حل مسائل غیرخطی، رویه‌ها و پارامترهای محاسباتی پیچیده و ناملموس و عدم انعطاف‌پذیری در استفاده از متغیرهای موثر، الگوریتم ژنتیک را پیشنهاد داد.

چانگ^۲ و همکارانش (۲۰۰۹) در تحقیقی که انجام دادند بر این عقیده بودند که استفاده از برنامه‌ریزی‌های ریاضی برای حل مسأله‌ی سبد سهام بهترین گزینه می‌باشد. آن‌ها یک روش فراابتکاری را برای حل مسائل بهینه‌سازی سبد سهام ارائه کردند که در آن الگوریتم ژنتیک سبدهای سهام مختلف که ریسک آن‌ها به شیوه‌های متفاوتی محاسبه شده بود را به کار می‌گرفت. هدف اصلی آن‌ها بررسی کارایی الگوریتم ژنتیک برای حل مسأله‌ی بهینه‌سازی سبد سهام با مدل‌های متفاوت ریسک بود به‌ویژه سبدهای سهامی که محدودیت‌های عدد صحیح را نیز مدنظر قرار می‌دادند. آن‌ها الگوریتم‌های ژنتیک را برای حل مسائل بهینه‌سازی سبد سهام در مدل‌های متفاوت میانگین - واریانس، نیم‌واریانس و واریانس به کار بردند. آن‌ها نشان دادند که اگر میانگین و واریانس با انحراف به عنوان مدل‌های محاسبه‌ی ریسک به کار گرفته شوند، مسائل بهینه‌سازی سبد سهام می‌توانند به راحتی با الگوریتم ژنتیک حل شوند. با مدل‌های مختلف محاسبه‌ی ریسک که در الگوریتم ژنتیک مورد استفاده قرار گرفت، سرمایه‌گذاران قادر خواهند بود که مرز کارایی را برای مقدار ثابتی از سرمایه‌ی خود به‌دست آورند. آن‌ها به این حقیقت دست یافتند که سبد سهامی با اندازه‌ی کوچک‌تر کارایی بیشتری از اندازه‌ی بزرگ‌تر آن خواهد داشت.

آرانا و ایبا^۳ (۲۰۰۹) در تحقیقی با عنوان "الگوریتم ژنتیک درختی ممیتیک^۴ و کاربرد آن در بهینه‌سازی سبد سهام" از الگوریتم ژنتیک برای انتخاب و بهینه‌سازی سبد سهام بهره بردند. در

¹ Dong Yi

² Chang

³ Arana & Iba

⁴ Genetic Memetic Algorithm

این تحقیق سبدهای سهام کوچکتري در سطح معینی از اجرا به دست آمده است. به طور کلی این روش شیوه‌های حل قدیمی را تحت سطوح مختلف ریسک – بازده بهینه می‌نماید.

هاو و لیو^۱ (۲۰۰۹) در تحقیقی با عنوان "مدل‌های میانگین – واریانس برای انتخاب سبد سهام با بازده‌های تصادفی فازی" الگوریتم ژنتیک را به عنوان ابزار حل مدل‌های خود به کار بردند.

مدل‌های برنامه‌ریزی خطی زیادی برای انتخاب پورتفوی توسعه داده شده است. کونویامازاکی^۲، زینوس^۳ و کنگ^۴ و همچنین اسپرانزا^۵ در سال ۲۰۱۰ جهت محاسبه‌ی ریسک پورتفوی، مفهوم انحراف معیار را ارائه دادند. همچنین آن‌ها مدلی را ارائه دادند که معیار ریسک نامتقارن را در برمی‌گرفت که مشکلات زیادی را در مورد مدل بهینه‌سازی برطرف می‌کرد.

چن^۶ و همکارانش (۲۰۱۱)، در مقاله‌ای از الگوریتم ژنتیک رابطه‌ای^۷ جهت بهینه‌سازی پورتفوی استفاده نموده است.

شوف و فاستر^۸ در سال ۲۰۱۲ نخستین استفاده از الگوریتم ژنتیک برای حل مدل‌های انتخاب سبد سهام براساس مدل مارکوویتز را انجام دادند. آن‌ها از این الگوریتم برای مسأله‌ی انتخاب پورتفوی مارکوویتز استفاده کردند و دریافتند که جواب‌های به دست آمده از روش درجه‌ی دو دقیق‌تر می‌باشد.

¹ Haw & Liv

² Kunoyamazaki

³ Zinus

⁴ Kong

⁵ Spranza

⁶ Chen

⁷ Genetic Relation Algorithm

⁸ Shuf & Faster

سفیانیه و بنبوزیان^۱ (۲۰۱۲)، در مقاله‌ای تحت عنوان انتخاب پورتفوی با استفاده از الگوریتم ژنتیک، الگوریتم ژنتیک را بر روی مدل ساده‌ای شامل ۵ سهم به کار بسته‌اند. آن‌ها ذکر می‌کنند که نتایج به دست آمده جالب توجه بوده و همچنین در مورد زمان محاسباتی نیز جالب توجه است.

۲-۴-۲ مروری بر پژوهش‌های داخلی

اسلامی بیدگلی و تلنگی در سال ۱۳۷۸ علاوه بر الگوریتم‌های ارائه شده برای حل مدل‌های برنامه‌ریزی خطی مسأله و مسائل چندهدفه‌ی این چنینی، رویکردهای گوناگونی نظیر برنامه‌ریزی آرمانی و برنامه‌ریزی چندهدفه را ارائه کرده‌اند.

عبدالعلی زاده شهیر و عشقی (۱۳۸۲) در مقاله‌ای تحت عنوان "کاربرد الگوریتم ژنتیک در انتخاب یک مجموعه دارایی از سهام بورس اوراق بهادار" با استفاده از الگوی خاصی از الگوریتم ژنتیک (استفاده از عملگر تقاطعی دو نقطه برش و عملگر جهش) و مجموعه‌ای از اطلاعات سالانه بازده و ریسک شرکت‌ها به عنوان ورودی‌های مدل، الگوهای ارائه شده در این مقاله را بر روی اطلاعات بیش از ۲۰۰ سهم از مجموعه سهام بورس اوراق بهادار تهران پیاده‌سازی کردند. آن‌ها به منظور انتخاب بهترین نوع عملگر از بین عملگرها و استراتژی‌های انتخابی موجود، چهار ترکیب گوناگون را در نظر گرفته و مدل‌های طراحی شده در هر یک از این ۴ حالت را مورد آزمون قرار دادند.

خالوارزاده و امیری (۱۳۸۴) در تحقیقی به توسعه‌ی روش‌های مدیریت ریسک براساس نظریه‌ی ارزش در معرض ریسک توجه نموده است. در این تحقیق با استفاده از الگوریتم ژنتیک، سبد سهام بهینه‌ای بدست می‌آید که دارای سود ماکزیمم و قیدی روی ریسک سبد است.

¹ Safianeh & Benbozianeh

محمدی استخری (۱۳۸۶)، در مقاله با استفاده از مدل بهینه‌سازی الگوریتم ژنتیک، به وجود اختلاف معنی‌دار و برتری قابل توجه نتایج روش الگوریتم ژنتیک برای سبدهای ۱۰، ۲۰ و ۳۰ سهمی دست یافته است.

مدرس و محمدی استخری (۱۳۸۶) در تحقیقی دیگر با عنوان "انتخاب یک سبد سهام از بین شرکت‌های پذیرفته شده در بورس اوراق بهادار تهران با استفاده از مدل بهینه‌سازی الگوریتم ژنتیک" انتخاب پورتفوی از سهام در بورس اوراق بهادار تهران، با اهداف حداکثر و حداقل واریانس را با استفاده از الگوریتم ژنتیک بهینه کرده است. نتایج این تحقیق حاکی از وجود اختلاف معنادار و برتری قابل توجه نتایج الگوریتم ژنتیک در سبدهای ۱۵، ۱۰ و ۲۵ سهمی بود. همچنین در این تحقیق مشخص شد که بازدهی سبدهای نخست از سبدهای تشکیل شده تصادفی، بیشتر است.

یکی از مشکلات مدل مارکوویتز در نظر نگرفتن محدودیتی تحت عنوان حداقل مقادیر معاملاتی است. منظور از کمترین مقادیر معاملاتی مواردی است که در آن‌ها پاسخ‌های بهینه براساس بودجه‌ی مورد نظر بدست می‌آید. همچنین باید توجه داشت که مسائل انتخاب سبد سهام با حداقل مقادیر معاملاتی، مسأله‌های بهینه‌سازی ترکیبی هستند که منطقه‌ی امکان‌پذیر آن‌ها محدود می‌باشد (پیوسته نیست). از اینرو، سرمایه‌گذاران می‌بایست از مدل انتخاب سبد سهامی، که سهام را براساس ضرایبی از یک حداقل مقدار معامله مدنظر می‌گیرد، استفاده کنند. عموماً، مسائل انتخاب سبد سهام با مدل‌های برنامه‌ریزی درجه دو یا خطی و با در نظر گرفتن این فرض که وزن‌های دارایی‌های سبد سهام، اعدادی حقیقی هستند حل می‌شوند و البته این فرض مشکلاتی را ایجاد می‌کند.

تا قبل از ارائه‌ی مدل میانگین - واریانس مارکوویتز، ریسک عاملی کیفی پنداشته میشد و در محاسبات منظور نمیشد. گرچه مدل مارکوویتز را می‌توان سرآغاز تحولی در نظریه‌ی نوین

سرمایه‌گذاری دانست، اما ضعف‌هایی دارد که در مدل‌های بعدی به تکامل رسید (چنگ و همکارانش، ۲۰۰۰). در سال ۱۹۶۳، ویلیام شارپ با تعریف پارامتر جدیدی به نام ضریب حساسیت به عنوان ریسک، مدلی را با عنوان، مدل تک شاخصی ارائه کرد. اگرچه مزیت مدل یاد شده سادگی و کاهش داده‌های مورد نیاز بود اما این مدل مفروضاتی داشت که برخی از آن‌ها کاملاً غیرواقعی بود. از جمله‌ی این مفروضات می‌توان به فرض یک دوره‌ای بودن افق زمانی سرمایه‌گذاران در مدل شارپ اشاره کرد.

سلیمانی، گلمکانی و سعیدی در سال ۱۳۸۷ نشان دادند که این مدل‌ها مهمترین گام را در مدل‌سازی مسأله‌ی بهینه‌سازی سبد سهام برداشتند. پس از آن‌ها، بخشی از پژوهش‌ها به تطبیق مدل‌های ارائه شده با مسائل واقعی پرداختند. برای مثال، مارینگر^۱ نشان داد که نرخ بازده را می‌توان به کمک تعداد مشخصی دارایی با دقتی نزدیک به در نظر گرفتن همه‌ی دارایی‌ها و با تطابق بیشتری با شرایط واقعی به دست آورد.

گرکز^۲ و همکاران (۱۳۸۸) در مقاله‌ای با عنوان "انتخاب و بهینه‌سازی سبد سهام با استفاده از الگوریتم ژنتیک براساس تعاریف متفاوتی از ریسک" نشان دادند نتایج تحقیق حکایت از توانایی فوق‌العاده‌ی الگوریتم ژنتیک در به دست آوردن نقاط بهینه، این اطمینان خاطر را برای سرمایه‌گذار ایجاد نمود که نقطه‌ی بهینه‌ی به دست آمده، نقطه بهینه‌ی اصلی می‌باشد و مسأله در دام نقاط بهینه‌ی محلی گرفتار نشده است. از سوی دیگر این تحقیق نشان داد که مسائل بهینه‌سازی سبد سهام می‌تواند به راحتی در زمان نسبتاً کوتاه (کمتر از چند دقیقه) با استفاده از الگوریتم ژنتیک حل شود.

¹ Maringer

² Garkaz

نویدی و همکاران (۱۳۸۸) در تحقیقی به موضوع انتخاب و تشکیل سبد سهام بهینه پرداختند. آن‌ها به عنوان یک مطالعه‌ی موردی، به بررسی تشکیل پورتفوی بهینه در بورس اوراق بهادار تهران با استفاده از الگوریتم پیشنهادی پرداختند.

مطهره مقدسی (۱۳۸۹) در مقاله‌ای تحت عنوان انتخاب و بهینه‌سازی سبد سهام با استفاده از الگوریتم ژنتیک براساس تعریف متفاوت از ریسک ۱۴۶ شرکت را برای مطالعه انتخاب کرده است. با در دست داشتن قیمت ماهانه‌ی سهام این شرکت‌ها، ریسک و بازدهی ماهانه‌ی آن‌ها به‌عنوان ورودی‌های الگوریتم محاسبه شده است. سپس دو مدل طراحی شده که مدل اول با واردکردن محدودیت‌های بازار واقعی و اعمال نمودن ترجیحات متفاوت سرمایه‌گذاران بر مدل میانگین- واریانس مارکوویتز، مدل توسعه‌یافته‌ی میانگین - واریانس است و مدل دوم با در نظر گرفتن نیم‌واریانس به جای واریانس طراحی شده است.

در سال ۱۳۸۹ راعی و علی بیدگلی از الگوریتم جست و جوی هارمونی برای بهینه‌سازی سبد سهام در بازار بورس ایران استفاده کردند. در این مطالعه از رویکرد میانگین - نیم‌واریانس استفاده شده و با یافتن ۵۰ نقطه توسط الگوریتم، مرز کارای سبد، به‌دست آمده است.

رضایی پندری و همکاران (۱۳۹۰) در مقاله‌ای با عنوان "به‌کارگیری الگوریتم ژنتیک برای انتخاب پورتفوی بهینه‌ای با اهداف غیرخطی (بورس اوراق بهادار تهران)" در مقایسه‌ی جواب حاصل از الگوریتم ژنتیک با مدل کلاسیک مارکوویتز و مدل آرمانی با اهداف خطی و غیرخطی (درجه‌ی دوم) را نشان می‌دهد. اگرچه بازدهی پورتفوی حاصل از الگوریتم ژنتیک کمتر از مدل‌های دیگر است اما کاهش بازدهی با کاهش ریسک جبران شده است و معیارهای تعدیل شده بر مبنای ریسک بر بهتر بودن جواب حاصل از الگوریتم ژنتیک صحه می‌گذارد. همچنین پورتفوی حاصل تنوع بیشتری نسبت به پورتفوی مدل‌های دیگر دارد.

قاسمی و نجفی (۱۳۹۱)، در میان محدودیت‌های به‌کار رفته در پژوهش‌ها، از دو محدودیت حداقل یا حداکثر میزان سرمایه در یک دارایی به عنوان مهمترین محدودیت‌ها سخن به میان آوردند.

نبوی^۱ و همکاران (۱۳۹۱) در مقاله‌ای با عنوان "ارزیابی عملکرد تخمین زنده‌های ارزش در معرض خطر با استفاده از الگوریتم ژنتیک" به منظور بهینه‌سازی از یکی از معروف‌ترین الگوریتم‌های فراابتکاری یعنی الگوریتم ژنتیک استفاده شده است. یکی از نتایج جالب این تحقیق این بوده است که روش الگوریتم ژنتیک علی‌رغم سادگی محاسباتش بهترین نتیجه را از لحاظ ریسک و بازده داده است.

محمد همتی و مهدی اسفندیار (۱۳۹۳)، در مقاله‌ای تحت عنوان کاربرد الگوریتم ژنتیک چندهدفه‌ی NSGA-II در انتخاب پورتفوی بهینه در بورس اوراق بهادار به معرفی و استفاده از الگوریتم تکاملی NSGA-II پرداختند.

¹ Nabavi

۵-۲ نتیجه‌گیری

همان‌طوری که گفته شد با توجه به اهمیت سرمایه‌گذاری برای مدیران و سرمایه‌گذاران، یافتن مدلی که بتواند به بهینه‌سازی سبد سهام برای تصمیم‌گیری سرمایه‌گذاری کمک کند، همواره مورد توجه بوده است. با توجه به مطالعات و مستندات به دست آمده، تاکنون الگوریتم‌های متفاوتی در جهت بهینه‌سازی سبد سهام ارائه شده‌اند، اما این الگوریتم‌ها کارایی کافی را جهت بهینه‌سازی چندهدفه ندارند. بنابراین در این تحقیق سعی داریم براساس مدل مارکوویتز و با استفاده از الگوریتم‌های تکاملی چندهدفه و مقایسه‌ی آن‌ها با یکدیگر بهینه‌ترین سبد سهام را ارائه کرده و مناسب‌ترین الگوریتم را از نظر عملکرد معرفی کنیم.

فصل ۳: روش تحقیق

بیشتر مسائل بهینه‌سازی که بشر در دنیای واقعی با آنها سروکار دارد بیش از یک هدف را دربرمی‌گیرند به طوری که پاسخ بهینه‌ی مسأله هنگامی حاصل می‌گردد که کلیه‌ی اهداف به مرز خاصی از بهینگی رسیده باشند این گونه مسائل همان‌گونه که در فصل قبل گفته شد مسائل بهینه‌سازی چندهدفه نامیده می‌شود. اهداف مطرح شده در مسائل بهینه‌سازی چندهدفه ممکن است با هم در تضاد باشند از اینرو با مجموعه‌ای از پاسخ‌های بهینه مواجه خواهیم بود از آنجا که روش‌های کلاسیک در هر مرحله از اجرای الگوریتم تنها یک پاسخ را می‌توانند بیابند نمی‌توانند برای یافتن مجموعه‌ای از پاسخ‌های بهینه مناسب باشند. امروزه الگوریتم‌های تکاملی ابزار مناسبی برای حل مسائل بهینه‌سازی چندهدفه در نظر گرفته می‌شوند. برای نمونه استفاده از الگوریتم ژنتیک برای حل مسائل چندهدفه، مرتب‌سازی غیرمغلوب الگوریتم ژنتیک NSGA-II. در این نوع الگوریتم‌ها مکانیزم انتخاب براساس رتبه‌بندی پرتو بوده است. پس از آن الگوریتم‌های تکاملی دیگری ارائه شدند همانا نسخه‌ی بهبودیافته‌ی NSGA، NSGA-II، SPEA و نسخه‌ی بهبود یافته‌ی الگوریتم فوق SPEA2 در تمام الگوریتم‌های مطرح شده برای ارزیابی جمعیت از عملکرد جفت‌گیری و عملکرد جهش الگوریتم ژنتیک استفاده شده است.

از طرفی دیگر، الگوریتم ژنتیک با وجود توانایی بالا در حل مسائل، دارای محدودیت‌هایی مانند مشکل بودن تعریف صحیح و آگاهانه‌ی تابع برازش و انتخاب پارامترها (ووز، ۱۹۹۹) است. وجود چنین محدودیت‌هایی محققان را بر آن داشته تا همواره به دنبال الگوریتم‌های کاراتری برای حل مسائلی از این دست باشند.

اخیرا استفاده از الگوریتم‌های تکاملی چندهدفه برای حل مسائل بهینه‌سازی مورد توجه بسیاری از محققان بوده است. از این الگوریتم در بسیاری موارد برای حل مسائل بهینه‌سازی

استفاده شده و در موارد بسیاری نیز کارایی و دقت آن نسبت به الگوریتم‌های بهینه‌سازی دیگر مورد ارزیابی قرار گرفته است.

در این تحقیق برآنیم براساس مدل مارکوویتز و با استفاده از الگوریتم‌های تکاملی چندهدفه از جمله NSGA-II، SPEA2 و PESA-II بهینه‌ترین سبد سهام را معرفی کنیم. بنابراین، در این فصل ابتدا به معرفی مدل میانگین-واریانس مارکوویتز می‌پردازیم سپس مراحل هریک از الگوریتم‌ها را به‌طور کامل شرح خواهیم داد و درنهایت با استفاده از نرم‌افزار MATLAB و داده‌های گردآوری شده به حل مدل مارکوویتز که یافتن بهینه‌ترین سبد سهام و ارائه‌ی مناسب‌ترین وزن پیشنهادی می‌باشد با استفاده از این الگوریتم‌ها می‌پردازیم.

۲-۳ روش تحقیق

۱-۲-۳ معرفی مدل مارکوویتز

بازده مورد انتظار و واریانس پورتنوی به صورت فرمول (۱-۳) و (۲-۳) قابل تعریف است:

$$\min \quad \rho(x) = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n x_i x_j \sigma_{ij}, \quad (1-3)$$

$$\max \quad \mu(x) = \sum_{i=1}^n x_i \mu_i, \quad (2-3)$$

بنابراین مدل مارکوویتز به صورت یک مسأله‌ی مقید دو تابع هدف به صورت مدل زیر

نوشته می‌شود:

$$\min \quad \rho(x) = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n x_i x_j \sigma_{ij}, \quad (3-3)$$

$$\max \quad \mu(x) = \sum_{i=1}^n x_i \mu_i, \quad (4-3)$$

$$\text{s.t.} \quad \sum_{i=1}^n x_i = 1, \quad (5-3)$$

$$\sum_{i=1}^n \delta_i \leq K,$$

$$l_i \delta_i \leq x_i \leq u_i \delta_i, \quad i = 1, \dots, n,$$

$$\delta_i \in \{0, 1\}, \quad i = 1, \dots, n.$$

n تعداد دارایی‌ها

X_i کسری از سرمایه که در دارایی i ام سرمایه‌گذاری می‌شود به طوری که $i \in \{1, \dots, n\}$

بنابراین X یک بردار n عضوی است که حاوی جواب مسأله می‌باشد. در واقع X_i وزن هر سهم

در سبد سهام می‌باشد.

U_i حداکثر کسری از سرمایه است که سرمایه‌گذار حاضر است در دارایی i ام سرمایه‌گذاری

کند و طبیعتاً حداکثر مقدار آن ۱ می‌باشد. درواقع حد بالای وزن X_i

L_i حداقل کسری از سرمایه است که سرمایه‌گذار حاضر است در دارایی i ام سرمایه‌گذاری

کند. درواقع حد پایین وزن X_i

σ_{ij} بیانگر کوواریانس بین بازده دارایی‌های i و j می‌باشد.

K حداکثر تعداد کل سهام که سرمایه‌گذار تمایل دارد از بین n سهام موجود در سبد خود

داشته باشد و در آن‌ها سرمایه‌گذاری نماید.

μ_i بازده مورد انتظار دارایی i ام می‌باشد.

در این مدل تابع هدف اول می‌تواند براساس ضریب همبستگی ρ_{ij} بین دارایی i و j و

انحراف معیار (ρ_i, ρ_j) هم به دست بیاید زیرا $\sigma_{ij} = \rho_{ij} \sigma_i \sigma_j$.

δ_i متغیر صفر و یک می‌باشد. اگر سهم موجود باشد برابر یک و در حالت دیگر برابر صفر

است.

محدودیت‌های این مدل عبارتند از:

۱- مجموع وزن‌های اوراق بهادار در سبد سهام برابر یک است.

۲- در فرمول $\delta_i = \{0, 1\}$ ، با توجه به اینکه δ_i برابر صفر یا یک است، می‌توان گفت که مجموع

تعداد سهم‌های انتخاب شده توسط سرمایه‌گذار کوچکتر یا مساوی k (سقف تعیین شده

توسط سرمایه‌گذار) می‌باشد.

۳- وزن سهام انتخابی باید در بازه‌ی حداقل انتخابی که ناشی از سیاست‌های

سرمایه‌گذار است قرار گیرد.

در زبان مالی به مجموعه جواب‌های بهینه پارتو برای مسأله‌ی انتخاب پورتفوی، مجموعه‌ی

کارا یا مرز کارا گفته می‌شود.

به عبارت دیگر برای مجموعه‌ای از دارایی‌ها مجموعه‌ای از پورتفوی‌هایی که به ازای یک بازده مشخص حداقل ریسک را دارند مرز کارا را تشکیل می‌دهند. مرز کارا یک تابع غیرنزولی است که بهترین تعامل را بین ریسک و بازده نشان می‌دهد.

در این تحقیق با هدف نزدیک کردن این مدل به بازار واقعی و کاربردی‌تر کردن این مدل و درنهایت هدایت سرمایه‌گذاران بازار سهام به سمت انتخابی مطمئن‌تر به توسعه و حل این مدل پرداخته می‌شود.

۳-۲-۲ پارامترهای مدل مارکوفیتز

بازده مورد انتظار پورتفوی: بازده پورتفوی از دارایی‌ها برابر متوسط موزون بازده تک دارایی‌ها است. وزن به کار گرفته شده برای هر بازده، نسبتی از سرمایه‌گذاری انجام شده در دارایی مذکور خواهد بود. چنانچه μ_j بازده j امین دارایی و x_j نسبتی از وجوه سرمایه‌گذاری شده در j امین دارایی باشد در اینصورت بازده کل پورتفوی برابر است با روابط (۳-۶) و (۳-۷).

$$\mu_i = x_1\mu_1 + x_2\mu_2 + \dots + x_n\mu_n \quad (۳-۶)$$

$$\mu_p = \sum_{j=1}^N x_j\mu_j \quad (۳-۷)$$

لازمه‌ی درک ریسک پورتفوی، آشنایی با مفاهیم واریانس، انحراف معیار پورتفوی، کوواریانس و ضریب همبستگی می‌باشد.

کوواریانس: کوواریانس به میزان همگرایی یا واگرایی توام ۲ متغیر نسبت به میانگین تلقی می‌شود که به صورت رابطه‌ی (۳-۸) نشان داده شده است.

$$cov_{ij} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n [\mu_i - \bar{\mu}_i][\mu_j - \bar{\mu}_j] \quad (۳-۸)$$

$\bar{\mu}_i$ و $\bar{\mu}_j$ به ترتیب متوسط بازده مورد انتظار سهم i و j می‌باشد.

ضریب همبستگی: استانداردسازی کوواریانس با هر یک از انحراف معیارها، ضریب همبستگی را به وجود می‌آورد به طوری که $-1 < \rho_{i,j} < 1$ تغییر می‌کند. ارزش $(+1)$ به معنی رابطه‌ی خطی و مثبت کامل R_i و R_j و ارزش (-1) به خطی رابطه منفی کامل بین مجموعه بازده می‌باشد.

$$\rho_{ij} = \frac{cov_{ij}}{\delta_i \delta_j} \quad (9-3)$$

واریانس پورتنفوی با δ_p^2 نشان داده می‌شود و عبارت است از ارزش مورد انتظار مجذور انحرافات بازده پورتنفوی از میانگین بازده مورد انتظار پورتنفوی که به صورت فرمول $(3-10)$ آورده شده است.

$$\delta_p^2 = E(\mu_p - \bar{\mu}_p)^2 \quad (10-3)$$

بنابراین انحراف معیار پورتنفوی نیز به صورت رابطه‌ی $(3-11)$ تعریف می‌شود که بیانگر ریسک یک پورتنفوی دو سهمی است.

$$\delta_p = [x_1^2 \delta_1^2 + x_2^2 \delta_2^2 + 2x_1 x_2 cov_{1,2}]^{1/2} \quad (11-3)$$

X وزن هر سهم می‌باشد.

در نهایت ریسک برای یک پورتنفوی n سهمی به صورت فرمول $(3-12)$ است.

$$\delta_p^2 = \sum_{i=1}^n \delta_i^2 x_i^2 + 2 \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n x_i x_j cov_{ij} \quad (12-3)$$

۳-۲-۳ الگوریتم NSGA-II^۱

این الگوریتم بر پایه‌ی الگوریتم ژنتیک استوار بوده و شامل گام‌های راه‌حلی زیر می‌باشد:

گام ۱: ایجاد یک جمعیت تصادفی اولیه و محاسبه‌ی تابع هدف هر یک از آن‌ها (P_t). شایان ذکر است که تعداد اعضای این مجموعه N می‌باشد.

گام ۲: تولید جمعیت فرزندان از مجموعه اعضای جمعیت با استفاده از توابع تقاطع^۲ و جهش^۳ (Q_t)

گام ۳: تلفیق جمعیت‌های اولیه و فرزندان جهت بدست آمدن یک جامعه‌ی آماری کلی ($R_t = P_t \cup Q_t$).

گام ۴: مرتب‌سازی جامعه‌ی آماری کلی با استفاده از معیارهای رتبه (r_k) و فاصله ازدحامی^۴ (d_k) که تعریف هریک از آن‌ها عبارتست از:

الف) رتبه (r_k): اعضای از جامعه آماری کلی (R_t) که نامغلوب هستند، دارای رتبه‌ی یک ($r_1=1$) می‌باشند. با حذف این اعضا از R_t اعضای باقی‌مانده‌ای که نامغلوب هستند در رتبه دو ($r_2=2$) قرار خواهند گرفت. به‌طور مشابه با حذف این اعضای نامغلوب، رتبه‌ی آن دسته از اعضای نامغلوب جدید، برابر با سه ($r_3=3$) خواهد شد. این روال تا حذف آخرین عضو R_t ادامه می‌یابد تا هر عضو، دارای رتبه گردد. شایان ذکر است که معیار رتبه برای تعیین کیفیت اعضا می‌باشد.

ب) فاصله ازدحامی (d_k): برای اعضای که در یک رتبه خاص مانند k قرار دارند ($r_k=k$) عضو را به عنوان تابع چگالی^۵ می‌توان برگزید که معیاری از ازدحام اعضای یک رتبه می‌باشند. از آنجایی که نقاط ابتدایی و انتهایی هر رتبه نشان‌دهنده‌ی محدوده‌های اعضای جمعیت کلی (R_t)

¹ Non-dominated Sorting Genetic Algorithm

² Crossover

³ Mutation

⁴ Crowding distance

⁵ Density

می‌باشند، بنابراین فاصله ازدحامی آن‌ها برابر با صفر در نظر گرفته خواهد شد که شانس انتخاب آن‌ها در گام بعدی بیشتر باشد. فاصله ازدحامی در هر رتبه نسبت به اعضای کناری از همان رتبه سنجیده می‌شود که رابطه‌ی آن برای توابع دو هدفه به شرح روابط (۳-۱۳)، (۳-۱۴) و (۳-۱۵) خواهد بود:

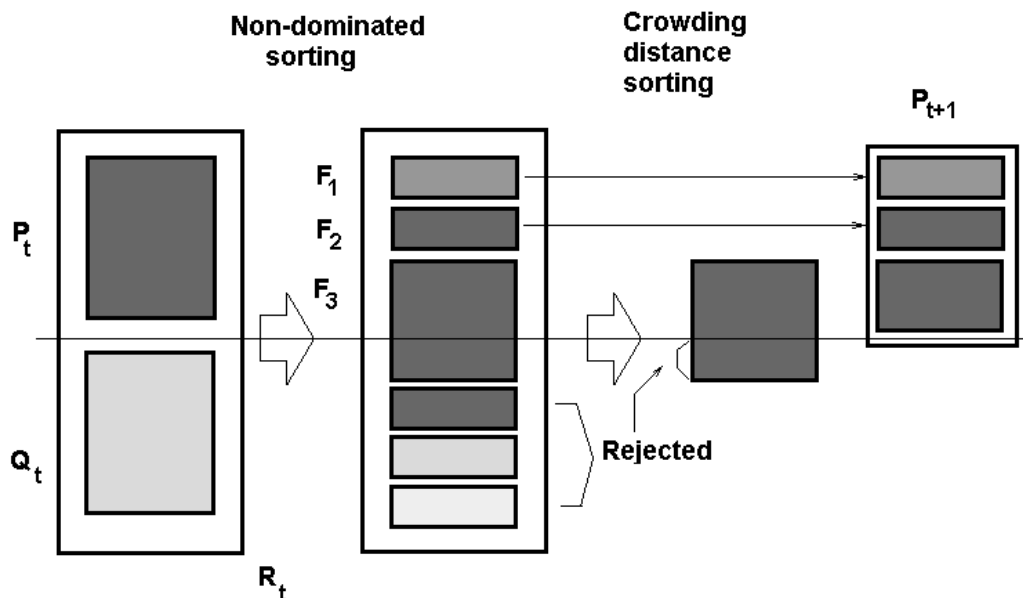
$$d_i^1 = \frac{|f_1^{i+1} - f_1^i|}{f_1^{max} - f_1^{min}} \quad (۳-۱۳)$$

$$d_i^2 = \frac{|f_2^{i+1} - f_2^{i-1}|}{f_2^{max} - f_2^{min}} \quad (۳-۱۴)$$

$$d_i = d_i^1 + d_i^2 \quad (۳-۱۵)$$

روابط (۳-۱۳)، (۳-۱۴) و (۳-۱۵) نشان‌دهنده‌ی آن است که در فضای دو بعدی اگر اعضای یک رتبه به یکدیگر نزدیک باشند آنگاه فاصله ازدحامی کمتری نیز خواهند داشت. اینک جهت مرتب‌سازی اعضای جمعیت کلی (R_t) کافی است که اعضا از رتبه و فاصله ازدحامی کمتر به بیشتر مرتب‌سازی شوند. شایان ذکر است که اعضای مرتب شده‌ی رتبه‌ی λ_m با F_i نشان داده می‌شود.

گام ۵: پس از مرتب‌سازی اعضای جمعیت کلی، به تعداد N عضو برتر که شامل رتبه و فاصله ازدحامی‌های کمتری نسبت به بقیه می‌باشند، انتخاب شده و به مجموعه جمعیت جدید (P_{t+1}) انتقال می‌یابند. ذکر این نکته لازم می‌نماید که اگر معیار فاصله ازدحامی استفاده نشود برای انتقال اعضا به جمعیت جدید امکان اینکه اعضای برتر انتقال یابند کم می‌گردد، همچنان که این موضوع در شکل ۳-۱ مشهود است. از آنجایی که با توجه به شکل تعداد محدودی از اعضا F_3 می‌بایست انتخاب شوند، بنابراین بهتر است آن‌هایی که دارای فاصله ازدحامی کمتری هستند انتقال یابند.



شکل ۳-۱ الگوریتم NSGA-II

گام ۶: حال که یک جمعیت جدید به وجود آمده است با توجه به گام‌های ۲ تا ۵ می‌توان به تکرار پرداخت تا آنجایی که جمعیت‌های جدید تولید شده به کیفیت و نظم مطلوب نزدیک شده به گونه‌ای که جمعیت‌های جدید را بتوان با تقریب قابل قبولی به عنوان پاسخ مسأله پذیرفت.

۳-۲-۴ الگوریتم SPEA2^۱

اساس کار این الگوریتم بر مبنای تکامل است بگونه‌ای که مراحل کارکرد آن به شرح زیر می‌باشد:

گام ۱: تولید یک جمعیت اولیه تصادفی و محاسبه توابع هدف بر مبنای آن (P_0) و همپنین ایجاد یک مجموعه خالی آرشیو (\bar{P}_0) که در این مرحله دارای هیچ عضوی نمی‌باشد. شایان ذکر است که پاسخ نهایی مسأله در مجموعه آرشیو قرار خواهد داشت. به عبارتی دیگر فرآیند حل مسأله در بین مجموعه‌های P_0 و \bar{P}_0 در حال تبادل عضو است و بهترین اعضاء در \bar{P}_0 ذخیره

¹ Strength Pareto Evolutionary Algorithm

می‌گردند که این خود دلیل خوبی بر بکارگیری اعضای آرشیو به عنوان پاسخ نهایی مسأله می‌باشد. همچنین تعداد اعضای موجود در آرشیو \bar{N} خواهد بود.

گام ۲: محاسبه‌ی توابع تناسب^۱ برای تمامی اعضا به جهت مرتب‌سازی آن‌ها در مجموعه جمعیت تابع تناسب براساس میزان نامغلوبی و ازدحام رتبه‌بندی می‌گردد که پاسخ‌های نامغلوب به کیفیت و ازدحام به نظم پاسخ‌ها مرتبط خواهند بود. به عبارتی دیگر هر چه پاسخی از طرف اعضای دیگر بیشتر مغلوب گردد دارای پارامتر R_i بیشتری خواهد بود. همچنین از آنجایی که امکان دارد دو پاسخ دارای R_i یکسانی باشند بنابراین آزمون دیگری نیاز می‌باشد تا نظم پاسخ‌ها را محاسبه کند. در این الگوریتم D_i به منزله‌ی تابعی از فاصله‌ی اعضا از یکدیگر می‌باشد بگونه‌ای که اگر عضوی در ناحیه‌ی بسیار پر ازدحامی قرار داشته باشد مقدار D_i به $0/5$ و اگر در ناحیه‌ای بسیار دورتر از بقیه اعضا جای گرفته باشد مقدار D_i به صفر میل خواهد کرد. در مجموع تابع تناسب F_i حاصل جمع R_i و D_i خواهد بود که برآوردی از میزان مناسب بودن پاسخ‌ها می‌باشد.

گام ۳: مرتب‌سازی پاسخ‌ها از F_i کوچکتر به بزرگتر و سپس انتقال \bar{N} پاسخ اولیه به داخل مجموعه آرشیو. در اینجا لازم است که به نکته‌ای اشاره گردد و آن مقایسه بین تعداد پاسخ‌های نامغلوب و \bar{N} می‌باشد چرا که اگر تعداد پاسخ‌های نامغلوب موجود در مجموعه جمعیت بزرگتر از \bar{N} باشد دیگر مرتب‌سازی آن دسته از جواب‌های نامغلوب براساس تابع تناسب صورت نخواهد گرفت بگونه‌ای که معیار مقایسه بین پاسخ‌های نامغلوب تابع چگالی خواهد بود. ذکر این نکته لازم است که تابع چگالی عضوهای نامغلوبی که نزدیک به هم هستند را حذف می‌کند تا تعداد اعضای نامغلوب برابر \bar{N} گردد، سپس اعضای نامغلوب به مجموعه آرشیو انتقال می‌یابند. شایان

¹ Fitness function

ذکر است که پس از پر شدن آرشیو، تمامی اعضای جمعیت حذف خواهند شد تا جمعیت‌های تولید شده‌ی بعدی به داخل آن راه یابند.

گام ۴: با انجام فرآیندهای تقاطع و جهش بر روی اعضای آرشیو، جمعیت فرزندان تولید می‌گردد که همه آن‌ها به مجموعه جمعیت انتقال خواهند یافت. همچنین اعضای آرشیو نیز به مجموعه جمعیت اضافه شده، بگونه‌ای که مجموعه‌ی آرشیو تهی گردد.

گام ۵: تکرار گام‌های ۲ تا ۴ تا زمانی که پاسخ‌های بدست آمده به کیفیت و نظم مطلوب برسند. در آخر نیز پاسخ‌های موجود در مجموعه‌ی آرشیو به عنوان پاسخ‌های مطلوب مسأله برگزیده خواهند شد.

۳-۲-۵ الگوریتم PESA-II^۱

همچنان که از نام این الگوریتم برمی‌آید اساس کار آن بر مبنای تکامل است و شامل مراحل محاسباتی به شرح زیر می‌باشد:

گام ۱: ایجاد یک جمعیت اولیه تصادفی و محاسبه توابع هدف برای تک تک اعضا. همچنین ایجاد مجموعه آرشیو تهی. شایان ذکر است که مجموعه آرشیو در مراحل بعدی حداکثر \bar{N} عضو خواهد داشت.

گام ۲: جداسازی پاسخ‌های نامغلوب و حذف پاسخ‌های مغلوب از مجموعه جمعیت. سپس انتقال اعضای نامغلوب به مجموعه آرشیو. لازم به ذکر است که در این انتقال اگر تعداد اعضای نامغلوب کمتر یا مساوی \bar{N} باشد نیازی به جداسازی اعضای نامغلوب نمی‌باشد ولی اگر اعضای نامغلوب تعداد بیشتری نسبت به \bar{N} داشته باشند بایستی از معیار نظم پاسخ‌های نامغلوب استفاده کرد که بر پایه حذف اعضای نواحی پر از ازدحام استوار می‌باشد. به عبارتی دیگر ناحیه‌ی جواب خانه‌بندی می‌شود. سپس اعضای خانه‌های پر از ازدحام احتمال بیشتری برای

¹ Pareto Envelope-based selection Algorithm

حذف خواهند داشت. این کار تا جایی ادامه می‌یابد که تعداد اعضای نامغلوب برابر با \bar{N} گردد. با انتقال این جواب‌ها به مجموعه آرشیو، مجموعه جمعیت تهی گردیده تا آماده‌ی پذیرش اعضاء جدید باشد.

گام ۳: با انتخاب اعضاء آرشیو به عنوان والدین، جمعیت فرزندان که از طریق تقاطع و جهش بدست می‌آیند به مجموعه جمعیت انتقال می‌یابند، سپس اعضای فعلی آرشیو (که همان والدین هستند) نیز به مجموعه اولیه انتقال می‌یابند تا مجدداً مجموعه آرشیو تهی گردد.

گام ۴: تکرار گام‌های ۲ و ۳ بگونه‌ای که در مجموعه‌ی آرشیو، اعضای با کیفیت و نظم مناسبی حاصل گردد.

۳-۳ معیارهای ارزیابی عملکرد پورتفوی

با استفاده از مفاهیم تئوری بازار سرمایه و CAPM و همچنین ریسک و بازده، دو محقق به نام‌های ویلیام شارپ^۱، جک ترینر^۲ معیارهایی را برای ارزیابی عملکرد پورتفوی در سال ۱۹۶۰ ارائه کردند.

۳-۳-۱ معیار شارپ

معیار شارپ به نسبت پاداش به تغییرپذیری معروف است. این نسبت بر پایه‌ی تئوری بازار سرمایه استوار است. فرمول (۳-۱۶) معیار شارپ را نشان می‌دهد.

$$RVAR = \frac{TR_p - R_f}{SD_p} \quad (۳-۱۶)$$

که صورت کسر برابر است با بازده مازاد (صرف ریسک^۳) و مخرج کسر برابر است با ریسک.

^۱ Sharp

^۲ Jack Traynor

^۳ Excess return

TR_p متوسط بازدهی کل سبد سهام در یک دوره‌ی زمانی، R_f نرخ بازدهی بدون ریسک طی دوره‌ی مورد بررسی، SD_p انحراف معیار بازده پورتفوی طی دوره‌ی مورد بررسی (منظور همان ریسک پورتفوی) است.

نسبت شارپ بازده مازاد سبد سهام را به ازای هر یک واحد ریسک اندازه‌گیری می‌کند و هر چه این نسبت بیشتر باشد، عملکرد سبد سهام به همان اندازه بهتر خواهد بود. در این پژوهش بررسی‌ها بر اساس بازدهی روزانه صورت گرفته است.

۳-۳-۲ معیار ترینر

تقریباً همزمان با شارپ (در اواسط دهه‌ی ۱۹۶۰)، جک ترینر نیز معیار مشابهی را با نام نسبت بازدهی به نوسان‌پذیری^۱ بازده یا نسبت بازده مازاد به ریسک سیستماتیک ارائه کرد. مانند شارپ، ترینر نیز درصدد ایجاد ارتباط میان ریسک پورتفوی با بازده آن برآمد.

معیار ترینر به صورت رابطه‌ی (۳-۱۷) مطرح گردیده است:

$$RVOR = \frac{TR_p - R_f}{\beta_p} \quad (۳-۱۷)$$

که در آن TR_p متوسط بازدهی کل سبد سهام در یک دوره‌ی زمانی، R_f متوسط نرخ بازدهی بدون ریسک طی دوره‌ی مورد بررسی، β_p شاخص ریسک سیستماتیک سبد سهام بوده و بیان‌کننده‌ی این مطلب است که در ازای یک واحد از ریسک سیستماتیک چه مقدار از بازده عاید سرمایه‌گذار می‌شود.

۳-۴ جامعه‌ی آماری

جامعه‌ی در نظر گرفته شده در این پژوهش تمام شرکت‌های پذیرفته شده و فعال در بورس اوراق بهادار تهران می‌باشد.

^۱ Reward to volatility ratio

۳-۵ نمونه آماری

نمونه‌ی انتخاب شده ده شرکت برتر بورس در سال ۱۳۹۲ می‌باشد که از سایت بورس اوراق بهادار تهران استخراج گردیده است. با توجه به اینکه بازدهی زمانی مدنظر از تاریخ ۸۸/۶/۱ تا ۹۳/۶/۱ می‌باشد، چهار نماد زمان ورودشان از ابتدای تاریخ به بورس اوراق بهادار تهران در این بازه‌ی زمانی نبوده، لذا از مجموعه‌ی لیست شرکت‌های برتر بورس اوراق بهادار تهران، برآن شدیم تا به ترتیب نمادهایی را انتخاب نماییم که در بازه‌ی زمانی مورد نظر در بورس فعالیت داشته باشند که در نهایت نمونه‌ی انتخابی ده شرکت برتر به ترتیب شامل شرکت‌های:

صنایع شیمیایی ایران (شیران)، بانک صادرات ایران (وبصادر)، کالسیمین (فاسمین)، پتروشیمی شازند (شاراک)، پتروشیمی فناوران (شفن)، سرمایه‌گذاری گروه توسعه‌ی ملی (وبانک)، بانک کارآفرین (وکار)، توسعه‌ی معادن و فلزات (ومعادن).

۳-۶ روش گردآوری داده‌ها

روش گردآوری اطلاعات به صورت کتابخانه‌ای و براساس مطالعه، مرور و بررسی سوابق و پیشینه‌های موجود در کتابخانه و سایر مراکز اطلاعاتی همچون اطلاعات موجود در کتاب‌ها، مجلات، پایان نامه‌ها و مقالات مرتبط با موضوع و سایت‌های اینترنتی و همچنین اطلاعاتی که در طول تحقیق از سازمان بورس دریافت می‌شود استفاده می‌گردد.

همچنین از نرم افزار Tsc client 2.0 برای دریافت اطلاعات مربوط به قیمت‌های سهام ده شرکت برتر استفاده شده و متغیرهای مورد نیاز با استفاده از این داده‌ها در اکسل محاسبه شده است.

۷-۳ روش تجزیه و تحلیل داده‌ها

با توجه به اینکه اطلاعات گردآوری شده کمی می‌باشد برای تحلیل آن‌ها تکنیک‌های تحلیل کمی مورد استفاده قرار می‌گیرد. برای حل مدل ارائه شده از الگوریتم‌های تکاملی زیر استفاده شد:

✓ الگوریتم ژنتیک با مرتب‌سازی نامغلوب^۱

✓ الگوریتم انتخاب مبتنی بر الگوی پارتو^۲

✓ الگوریتم تکاملی مبتنی بر شدت پارتو^۳

همچنین داده‌های موردنیاز را با استفاده از نرم‌افزار Tsc client 2.0 استخراج کرده و در Excel اطلاعات مورد نیاز مدل تولید گردید، سپس به عنوان ورودی نرم‌افزار MATLAB، از آن‌ها استفاده کردیم. نمودار پراکندگی داده‌های مربوط به هر شرکت نیز در محیط Excel ترسیم شده است.

¹ Non-dominated Sorting Genetic Algorithm

² Pareto Envelope-based selection Algorithm

³ Strength Pareto Evolutionary Algorithm

فصل ۴: نتایج

در این فصل با توجه به داده‌هایی که از ۱۰ شرکت برتر بورس اوراق بهادار تهران در اختیار داریم، می‌خواهیم هریک از الگوریتم‌ها را اجرا کرده، مرز کارای به دست آمده از الگوریتم (با توجه به تابع هدف مدل مارکوویتز) را در قالب نمودار به دست آوریم و وزن پیشنهادی پورتنفوی بهینه را ارائه کنیم. سپس نتایج حاصل از نمودار الگوریتم‌ها را با معیارهای ارزیابی عملکرد پورتنفوی از جمله معیار شارپ و معیار ترینر مقایسه کرده و با توجه به نتایج حاصل از مقایسه‌ی آن‌ها در نهایت نشان دهیم کدام الگوریتم بهترین سبد سهام بهینه را ارائه می‌کند که این امر سرمایه‌گذاران و مدیران را در انتخاب هرچه بهتر پورتنفوی خود یاری می‌کند.

۲-۴ پارامترها و متغیرهای مدل مارکوویتز

پورتفوی‌های کارا همانطوری که گفته شد پورتفوی‌هایی هستند که بیش‌ترین بازدهی مورد انتظار را به ازای سطح مشخصی از ریسک و همچنین پایین‌ترین درجه‌ی ریسک را به ازای سطح مشخصی از بازدهی مورد انتظار داشته باشد. در واقع مدل مارکوویتز شامل دو تابع هدف یکی به صورت مینیمم ساختن ریسک پورتفوی و دیگری به صورت ماکزیمم نمودن بازده آن می‌باشد. مدل مارکوویتز همان‌طور که قبلاً گفته شد به صورت فرمول‌های (۱-۴) و (۲-۴) است:

$$\min \quad \rho(x) = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n x_i x_j \sigma_{ij}. \quad (1-4)$$

$$\max \quad \mu(x) = \sum_{i=1}^n x_i \mu_i, \quad (2-4)$$

$$\text{s.t.} \quad \sum_{i=1}^n x_i = 1, \quad (3-4)$$

$$\sum_{i=1}^n \delta_i \leq K, \quad (4-4)$$

$$l_i \delta_i \leq x_i \leq u_i \delta_i, \quad i = 1, \dots, n, \quad (5-4)$$

$$\delta_i \in \{0, 1\}, \quad i = 1, \dots, n. \quad (6-4)$$

پارامترها و متغیرهای به کار رفته در مدل مارکوویتز به شرح جدول ۴-۱ است:

جدول ۴-۱ پارامترها و متغیرهای مدل مارکوویتز

μ_i	پارامتر	نشاندنده‌ی بازده مورد انتظار دارایی
$\rho(x)$	پارامتر	ریسک پورترفوی x
$\mu(x)$	پارامتر	بازده مورد انتظار پورترفوی x
σ_{ij}	پارامتر	کوواریانس بین بازده دارایی-های i و j
X_i	متغیر	میزان سهم i ام موجود در سبد (وزن سهم i)
δ_i	متغیر	برای تعیین سهام موردنظر، اگر سهم موجود باشد برابر یک و در غیراینصورت برابر صفر است
K	پارامتر	حداکثر تعداد کل سهامی که سرمایه‌گذار تمایل دارد در سبد خود داشته باشد.
L_i, U_i	پارامتر	حد بالا و حد پایین وزن X_i

۳-۴ نتایج عددی حاصل از اجرای الگوریتم‌ها

همان‌طوری که قبلاً اشاره شد، برای انتخاب جامعه و نمونه از میان مجموعه سهام موجود در بورس اوراق بهادار تهران به انتخاب ۱۰ شرکت برتر بورس برای نمونه‌ی موردنیاز در این پژوهش پرداختیم.

اسامی این شرکت‌ها به شرح جدول ۲-۴ است:

جدول ۲-۴ اسامی ۱۰ شرکت برتر بورس به همراه نمادشان

ردیف	نام شرکت	نماد
۱	صنایع شیمیایی ایران	شیران
۲	بانک صادرات ایران	وبصادر
۳	کالسیمین	فاسمین
۴	پتروشیمی شازند	شاراک
۵	پتروشیمی فن‌آوران	شفن
۶	سرمایه‌گذاری گروه توسعه‌ی ملی	وبانک
۷	بانک کارآفرین	وکار
۸	توسعه‌ی معادن و فلزات	ومعادن
۹	سرمایه‌گذاری سایپا	وساپا
۱۰	سرمایه‌گذاری صندوق بازنشستگی	وصندوق

برای محاسبه‌ی داده‌های مورد نیاز (بازده و کوواریانس)، قاعدتا به قیمت‌های روزانه‌ی تک‌تک این سهام نیاز بود که این اطلاعات به صورت روزانه از شهریور ۱۳۸۸ تا شهریور ۱۳۹۳ با استفاده از نرم افزار Tsc client 2.0 مورد مطالعه و جمع‌آوری قرار گرفت و در نهایت توانستیم به قیمت‌های روزانه‌ی این سهام دست یابیم.

برای محاسبه‌ی داده‌های ورودی مدل مارکوفیتز از برنامه‌ی Excel استفاده شد. بعد از محاسبه‌ی نرخ‌های بازدهی هر سهم، میانگین و واریانس داده‌ها مورد محاسبه قرار گرفت. یکی از متغیرهای مهم دیگر که در این مدل نقش اساسی داشته و اساس محاسبه‌ی تابع هدف است، مقدار کوواریانس میان سهم‌ها می‌باشد که مقادیر این متغیر نیز با استفاده از نرم افزار Excel محاسبه گردیده و در جدول ۳-۴ آورده شده است.

جدول ۴-۴ کوواریانس بین سهام

وحدان	2.44806E-05	4.88938E-05	0.000176665	0.000122178	9.53731E-06	8.10491E-05	6.63816E-05	8.50006E-05	5.91054E-05	0.000466638
شیران	1.65473E-05	9.45366E-06	0.000100655	7.59723E-05	2.07013E-05	5.03875E-05	4.54565E-05	6.25846E-05	0.001105348	5.91054E-05
وصفوق	1.26859E-05	5.0543E-05	0.00010238	6.72095E-05	4.82487E-05	9.56245E-05	4.51258E-05	0.000452316	6.25846E-05	8.50006E-05
وسپا	5.62253E-05	5.20624E-05	9.1556E-05	9.99963E-05	2.43895E-05	8.89133E-05	0.001154392	4.51258E-05	4.54565E-05	6.63816E-05
وبانک	4.09091E-05	5.04955E-05	9.47926E-05	0.000108761	4.03552E-05	0.000500402	8.89133E-05	9.56245E-05	5.03875E-05	8.10491E-05
شفن	4.85061E-06	1.62134E-05	7.94708E-05	7.27283E-05	0.000451547	4.03552E-05	2.43895E-05	4.82487E-05	2.07013E-05	9.53731E-06
شاراک	3.16206E-05	5.38048E-05	0.000119574	0.001032441	7.27283E-05	0.000108761	9.99963E-05	6.72095E-05	7.59723E-05	0.000122178
فاسین	1.90786E-05	4.96535E-05	0.001037707	0.000119574	7.94708E-05	9.47926E-05	9.1556E-05	0.00010238	0.000100655	0.000176665
وکار	4.50764E-05	0.000321746	4.96535E-05	5.38048E-05	1.62134E-05	5.04955E-05	5.20624E-05	5.0543E-05	9.45366E-06	4.88938E-05
وحصار	0.000237233	4.50764E-05	1.90786E-05	3.16206E-05	4.85061E-06	4.09091E-05	5.62253E-05	1.26859E-05	1.65473E-05	2.44806E-05
		وکار	فاسین	شاراک	شفن	وبانک	وسپا	وصفوق	شیران	وحدان

جدول ۴-۴ بازده روزانه‌ی سهام

وبصادر	۰,۰۰۰۹۷۹۷۶۶
وکار	۰,۰۰۱۱۸۸۶۸۷
فاسمین	۰,۰۰۲۵۶۰۸۱۱
شاراک	۰,۰۰۱۵۶۲۰۷۶
شفن	۰,۰۰۱۲۲۷۰۰۳
وبانک	۰,۰۰۱۷۷۰۱۴۹
وساپا	۰,۰۰۱۴۵۱۷۴۲
وصندوق	۰,۰۰۱۲۲۲۲۸۵
شیران	۰,۰۰۲۳۵۱۸۳۸
ومعادن	۰,۰۰۱۰۰۴۳۱۹

برای حل مدل مارکوویتز از طریق هر یک از الگوریتم‌های PESA-II، SPEA2، NSGA-II

از برنامه‌ی MATLAB 2014 استفاده شده است. MATLAB نرم افزاری فوق‌العاده قدرتمند

است که می‌توان در محیط آن با استفاده از برنامه‌نویسی، به حل مسائل و مدل‌های گوناگون

پرداخت. از کاربردهای مهم این برنامه می‌توان به استفاده از آن برای حل مسائل بهینه‌سازی

اشاره کرد.

با استفاده از نرم افزار Excel و داده‌های به دست آمده از اجرای هر یک از الگوریتم‌ها، معیار

شارپ و معیار ترینر نیز محاسبه گردیده است.

۴-۴ الگوریتم NSGA-II

مدل مارکوویتز شامل یک تابع هدف مینیمم به صورت

$$\min \quad \rho(x) = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n x_i x_j \sigma_{ij} \quad (۷-۴)$$

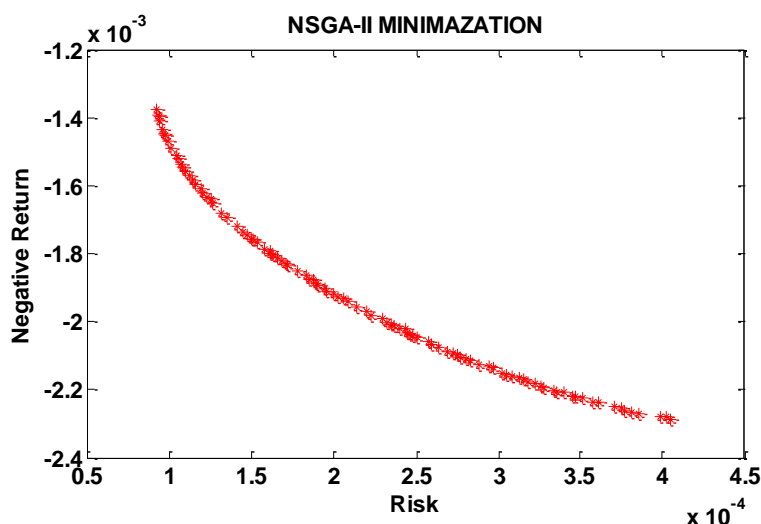
و تابع هدف ماکزیمم به صورت

$$\max \quad \mu(x) = \sum_{i=1}^n x_i \mu_i \quad (۸-۴)$$

می‌باشد. در هر سه الگوریتم نمودار اول را به دلیل اینکه یک تابع هدف ماکزیمم بود به صورت مینیمم کدنویسی کردیم. (چون بهینه‌سازی براساس مینیمم‌سازی می‌باشد). درواقع مرز کارا براساس مینیمم‌سازی به دست آمد. سپس یکی از توابع را که در منفی ضرب شده بود (برای تبدیل تابع هدف ماکزیمم به مینیمم) مجدد در منفی ضرب کردیم و نمودار نهایی NSGA-II، SPEA2 و PESA-II با تابع هدف مدنظر مدل مارکوویتز که ماکزیمم بازده و مینیمم ریسک بود به صورت نمودار دوم به دست آمد.

نمودار ۴-۱، نمودار مرز کارای الگوریتم NSGA-II با تابع هدف مینیمم-مینیمم را نشان

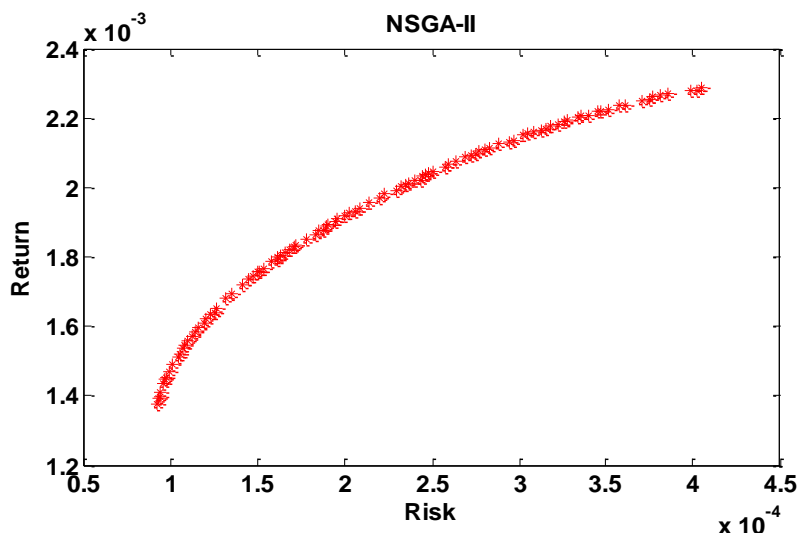
می‌دهد.



نمودار ۱-۴ مرز کارای الگوریتم NSGA-II با تابع هدف مینیمم-مینیم

نمودار ۲-۴، مرز کارای الگوریتم NSGA-II با تابع هدف ماکزیمم-مینیمم را نشان می‌دهد

که نمودار نهایی مرز کارا برای این الگوریتم با تابع هدف مدنظر مدل مارکوویتز می‌باشد.



نمودار ۲-۴ مرز کارای الگوریتم NSGA-II

همان‌طوری که گفته شد بعد از اجرای برنامه و به‌دست آمدن مرز کارا، الگوریتم NSGA-II

وزن پیشنهادی خود را برای بهینه‌ترین سبد سهام ارائه می‌کند. وزن پیشنهادی این الگوریتم

در جدول ۴-۵ آورده شده است.

جدول ۴-۵ وزن پیشنهادی الگوریتم NSGA-II

وزن	نام شرکت
۰,۰۰۹۵	بانک صادرات ایران
۰,۰۲۷۳	بانک کارآفرین
۰,۳۲۴۳	کالسیمین
۰,۰۴۲۱	پتروشیمی شازند
۰,۰۱۱۶	پتروشیمی فن آوران
۰,۲۷۰۱	سرمایه‌گذاری گروه توسعه‌ی ملی
۰,۰۲۷۲	سرمایه‌گذاری سایپا
۰,۰۰۲	سرمایه‌گذاری صندوق بازنشتگی
۰,۲۸۲۹	صنایع شیمیایی ایران
۰,۰۰۳	توسعه‌ی معادن و فلزات
۱	جمع

الگوریتم NSGA-II علاوه بر وزن پیشنهادی، بازده و ریسک بهینه‌ترین سبد سهام را نیز ارائه

می‌کند. بازده و ریسک بهینه به صورت روزانه محاسبه شده است. جدول ۴-۶ بازده و ریسک

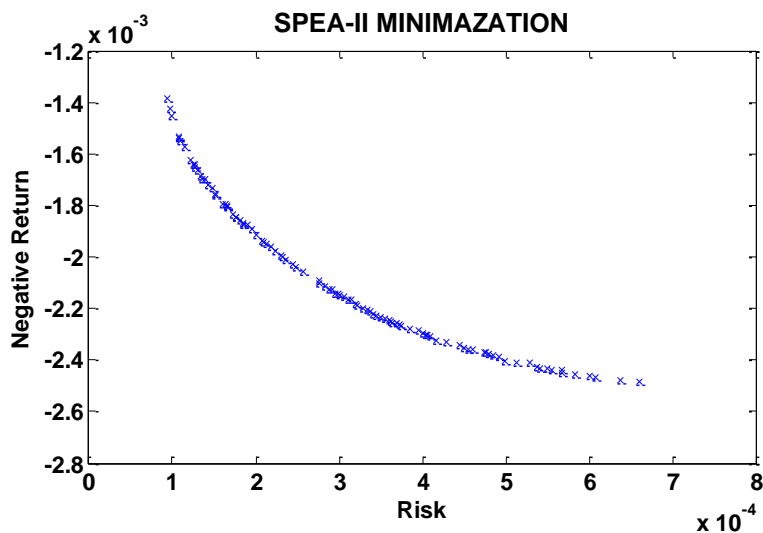
روزانه‌ی بهینه را نشان می‌دهد.

جدول ۴-۶ بازده و ریسک بهینه

بازده بهینه	ریسک بهینه
۰,۰۰۲۱۴۰۶	۰,۰۰۰۲۹۵۷۷

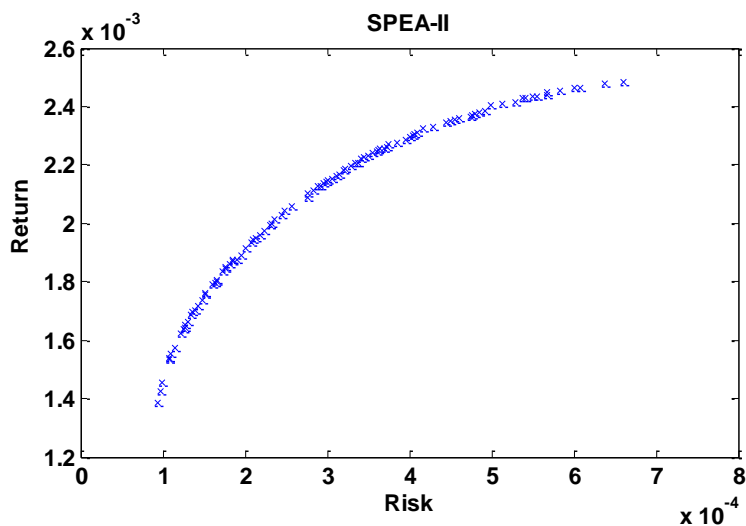
۵-۴ الگوریتم SPEA2

نمودار ۳-۴، نمودار مرز کارای الگوریتم SPEA2 با تابع هدف مینیمم-مینیمم را نشان می‌دهد.



نمودار ۳-۴ الگوریتم SPEA2 با تابع هدف مینیمم-مینیمم

نمودار ۴-۴، نمودار نهایی مرز کارای الگوریتم SPEA2 با تابع هدف ماکزیمم-مینیمم است.



نمودار ۴-۴ مرز کارای الگوریتم SPEA2

وزن پیشنهادی بهینه‌ترین سبد سهام توسط الگوریتم SPEA2 در جدول ۷-۴ نشان داده

شده است.

جدول ۴-۷ وزن پیشنهادی الگوریتم SPEA2

وزن	نام شرکت
۰,۰۰۱۲	بانک صادرات ایران
۰,۰۰۴۱	بانک کارآفرین
۰,۳۸۹۹	کالسیمین
۰,۰۰۹۸	پتروشیمی شازند
۰,۰۰۹۴	پتروشیمی فن آوران
۰,۲۶۲۵	سرمایه‌گذاری گروه توسعه‌ی ملی
۰,۰۰۷۶	سرمایه‌گذاری سایپا
۰,۰۰۱۴	سرمایه‌گذاری صندوق بازنشستگی
۰,۳۱۲۸	صنایع شیمیایی ایران
۰,۰۰۱۳	توسعه‌ی معادن و فلزات
۱	جمع

بازده و ریسک بهینه‌ترین سبد سهام توسط الگوریتم SPEA2 در جدول ۴-۸ آورده شده

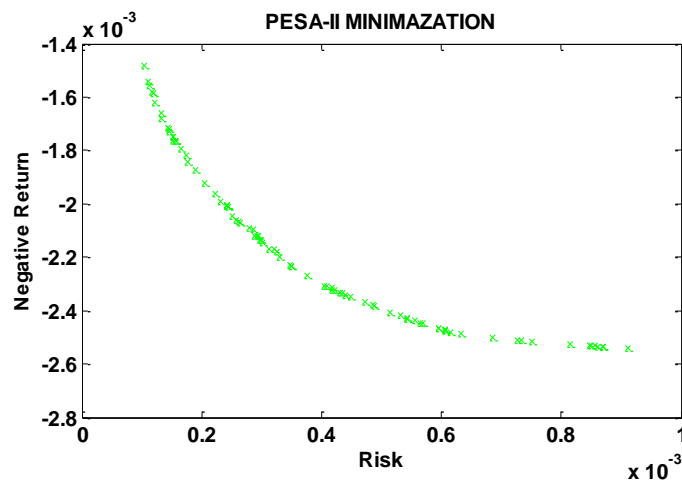
است. بازده و ریسک به دست آمده به صورت روزانه می‌باشد.

جدول ۴-۸ بازده و ریسک بهینه

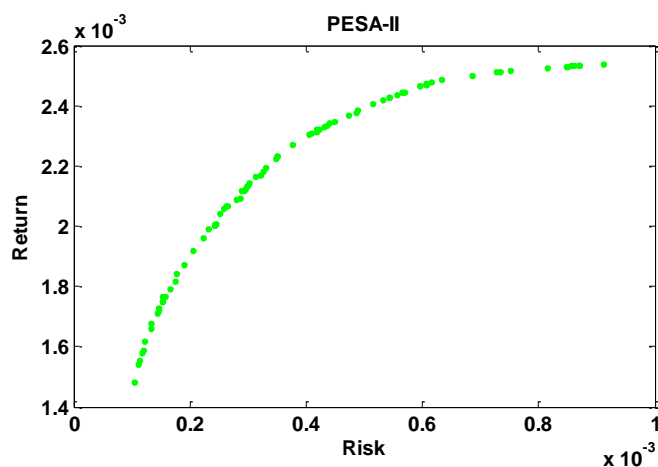
بازده بهینه	ریسک بهینه
۰,۰۰۲۲۴۵۸	۰,۰۰۰۳۵۷۷۷

۶-۴ الگوریتم PESA-II

نمودار مرز کارای الگوریتم PESA-II با تابع هدف مینیمم-مینیمم در نمودار ۵-۴ نشان داده شده است.



نمودار ۵-۴ مرز کارای الگوریتم PESA-II با تابع هدف مینیمم-مینیمم
نمودار ۶-۴ نمودار نهایی مرز کارای الگوریتم PESA-II برای مدل مارکوویتز را نشان می-دهد.



نمودار ۶-۴ الگوریتم PESA-II

همان‌طوری که گفته شد بعد از اجرای برنامه و به‌دست آمدن مرز کارا، الگوریتم PESA-II

وزن پیشنهادی خود را برای بهینه‌ترین سبد سهام ارائه می‌کند. وزن پیشنهادی این الگوریتم در جدول ۴-۹ آورده شده است.

جدول ۴-۹ وزن پیشنهادی الگوریتم PESA-II

وزن	نام شرکت
۰,۰۰۴۴	بانک صادرات ایران
۰,۰۰۱۰	بانک کارآفرین
۰,۴۸۶۲	کالسیمین
۰,۰۰۱۱	پتروشیمی شازند
۰,۰۰۰۰۸	پتروشیمی فن‌آوران
۰,۱۴۷۲	سرمایه‌گذاری گروه توسعه ملی
۰,۰۲۵۰	سرمایه‌گذاری سایپا
۰,۰۰۲۱	سرمایه‌گذاری صندوق بازنشستگی
۰,۳۳۲۱	صنایع شیمیایی ایران
۰,۰۰۰۰۴	توسعه‌ی معادن و فلزات
۱	جمع

الگوریتم SPEA-II علاوه‌بر وزن پیشنهادی خود، بازده و ریسک بهینه‌ترین سبد سهام را

نیز ارائه می‌کند. این ریسک و بازده بهینه در جدول ۴-۱۰ نشان داده شده است. بازده و ریسک بهینه به صورت روزانه محاسبه شده است.

جدول ۴-۱۰ ریسک و بازده بهینه

بازده بهینه	ریسک بهینه
۰,۰۰۲۲۸۷۹	۰,۰۰۰۳۸۵۸۱

ریسک و بازده بهینه برای هر سه الگوریتم NSGA-II، SPEA2 و PESA-II در جدول ۴-۴

۱۱ آورده شده است.

جدول ۴-۱۱ ریسک و بازده بهینه هر سه الگوریتم

	NSGA-II	SPEA2	PESA-II
بازده بهینه	۰,۰۰۲۱۴۰۶	۰,۰۰۲۲۴۵۸	۰,۰۰۲۲۸۷۹
ریسک بهینه	۰,۰۰۰۲۹۵۷۷	۰,۰۰۰۳۵۷۷۷	۰,۰۰۰۳۸۵۸۱

بنابراین با مقایسه‌ی تک تک الگوریتم‌ها، بازده بهینه‌ی الگوریتم PESA-II از همه بیشتر

می‌باشد که به ازای آن ریسک بیشتری را نیز ارائه کرده است.

۷-۴ محاسبه‌ی معیار شارپ

با استفاده از فرمول

$$RVAR = \frac{TR_p - R_f}{SD_p} \quad (۴-۱۹)$$

معیار شارپ برای هر سه پورتفوی به دست آمده از سه الگوریتم، به صورت زیر است:

جدول ۴-۱۲ معیار شارپ

معیار شارپ		
NSGA-II	SPEA2	PESA-II
۵,۳۸۴۷۷۵	۴,۷۴۵۶۶	۴,۵۰۹۸۷۴۷۹۵

معیار شارپ به دست آمده برای هر سه الگوریتم بزرگتر از یک بوده که نشان‌دهنده‌ی

عملکرد خوب الگوریتم برای به دست آمدن پورتفوی بهینه می‌باشد.

در واقع به ازای یک واحد ریسک، پورتفوی بهینه‌ی حاصل از الگوریتم NSGA-II، ۵,۴

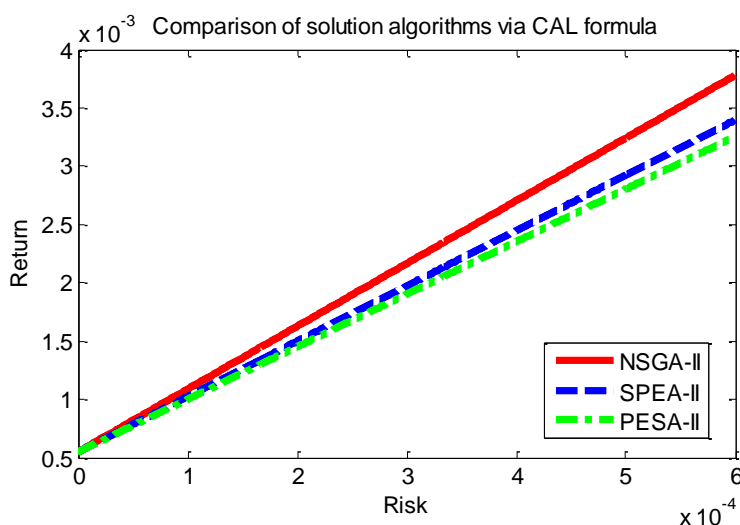
واحد سود می‌دهد و به ترتیب ۴,۸ و ۴,۵ واحد سود از هریک از پورتفوی‌های بهینه‌ی به دست

آمده از الگوریتم‌های SPEA2 و PESA-II محاسبه شده است.

واضح است که با توجه به سوددهی هر یک از این پورتفوی‌های بهینه، الگوریتم NSGA-II توانسته است در مقایسه با دو الگوریتم دیگر بهینه‌ترین سبد سهام را ارائه کند و این حاکی از عملکرد مناسب‌تر این الگوریتم نسبت به الگوریتم‌های دیگر می‌باشد.

۸-۴ نمودار CAL

در نمودار CAL، معیار شارپ برای این سه پورتفوی بهینه به صورت گرافیکی در نمودار ۷-۴ نشان داده شده است. محور عمودی بازده پورتفوی و محور افقی ریسک آن است. بر روی محور عمودی میزان R_f (نرخ بهره‌ی بدون ریسک) ۰٫۰۵ درصد می‌باشد. معیار شارپ، شیب خط را از R_f تا جایی که پورتفوی مورد ارزیابی قرار می‌گیرد، اندازه‌گیری می‌کند. هر چه خط تندتر باشد شیب خط معیار شارپ آن زیادتر و در نتیجه دارای عملکرد بهتری خواهد بود. همان طوری که مشاهده می‌کنیم شیب خط برای هر سه الگوریتم NSGA-II, SPEA2 و PESA-II مثبت بوده و نشان از عملکرد خوب هر سه الگوریتم می‌باشد. همچنین در بین این سه الگوریتم، شیب خط الگوریتم NSGA-II از همه بیشتر می‌باشد که این حاکی از عملکرد مناسب‌تر این الگوریتم در بین سه الگوریتم می‌باشد.



نمودار ۷-۴ نمودار CAL

۹-۴ محاسبه‌ی معیار ترینر

با استفاده از فرمول (۴-۲۰) معیار ترینر برای سه پورتفوی به دست آمده از سه الگوریتم محاسبه شد.

$$RVOR = \frac{TR_p - R_f}{\beta_p} \quad (۴-۲۰)$$

همان‌طوری که ملاحظه می‌شود برای محاسبه‌ی بتای پورتفوی ابتدا با استفاده از فرمول (۴-۲۱) به محاسبه‌ی بتای هر سهم پرداخته و سپس بتای هر سهم را در وزن آن سهم ضرب کرده و درنهایت، مجموع آن‌ها بتای پورتفوی را تشکیل می‌دهد. که به ترتیب جدول ۴-۱۳ داده‌های معیار ترینر برای الگوریتم NSGA-II، جدول ۴-۱۴ معیار ترینر برای الگوریتم SPEA2 و جدول ۴-۱۵ معیار ترینر برای الگوریتم PESA-II را نشان می‌دهد.

$$\beta_i = \frac{E(r_i) - R_f}{E(r_m) - R_f} \quad (۴-۲۱)$$

جدول ۴-۱۳ داده‌های معیار ترینر برای الگوریتم NSGA-II

وزن*بتا	وزن	بتا	بازده	نماد شرکت
۰,۰۰۳۷۳۳	۰,۰۰۹۵	۰,۳۹۳۹۹۱۹	۰,۰۰۰۹۷۹۷۷	وبصادر
۰,۰۱۰۶۰۷	۰,۰۲۷۳	۰,۳۸۸۵۴۷	۰,۰۰۱۱۸۹	وکار
۰,۵۹۴۰۷۶	۰,۳۲۴۳	۱,۸۳۱۸۷۳	۰,۰۰۲۵۶۱	فاسمین
۰,۰۳۸۸۵۶	۰,۰۴۲۱	۰,۹۲۲۹۴۲	۰,۰۰۱۵۶۲	شاراک
۰,۰۰۷۱۶۹	۰,۰۱۱۶	۰,۶۱۷۹۹۸	۰,۰۰۱۲۲۷	شفن
۰,۳۰۰۴۳۴	۰,۲۷۰۱	۱,۱۱۲۳۰۶	۰,۰۰۱۷۷	وبانک
۰,۰۲۲۳۷۳	۰,۰۲۷۲	۰,۸۲۲۵۲۹	۰,۰۰۱۴۵۲	وساپا
۰,۰۰۱۲۲۷	۰,۰۰۲	۰,۶۱۳۷۰۴	۰,۰۰۱۲۲۲	وصندوق
۰,۴۶۴۴۳۴	۰,۲۸۲۹	۱,۶۴۱۶۹	۰,۰۰۲۳۵۲	شیران
۰,۰۰۱۲۴۶	۰,۰۰۳	۰,۴۱۵۳۳۷	۰,۰۰۱۰۰۴	ومعادن
۱,۴۴۴۱۵۶	۱			جمع کل

جدول ۴-۱۴ داده‌های معیار ترینر برای الگوریتم SPEA2

وزن*بتا	وزن	بتا	بازده	نمادشرکت
۰,۰۰۰۴۷۱۵۹	۰,۰۰۱۲	۰,۳۹۲۹۹۱۹	۰,۰۰۰۹۷۹۷۷	وبصادر
۰,۰۰۱۵۹۳	۰,۰۰۴۱	۰,۳۸۸۵۴۷	۰,۰۰۱۱۸۹	وکار
۰,۷۱۴۲۴۷	۰,۳۸۹۹	۱,۸۳۱۸۷۳	۰,۰۰۲۵۶۱	فاسمین
۰,۰۰۹۰۴۵	۰,۰۰۹۸	۰,۹۲۲۹۴۲	۰,۰۰۱۵۶۲	شاراک
۰,۰۰۵۸۰۹۱۸۱	۰,۰۰۹۴	۰,۶۱۷۹۹۸	۰,۰۰۱۲۲۷	شفن
۰,۲۹۱۹۸	۰,۲۶۲۵	۱,۱۱۲۳۰۶	۰,۰۰۱۷۷	وبانک
۰,۰۰۶۲۵۱	۰,۰۰۷۶	۰,۸۲۲۵۲۹	۰,۰۰۱۴۵۲	وساپا
۰,۰۰۰۸۵۹	۰,۰۰۱۴	۰,۶۱۳۷۰۴	۰,۰۰۱۲۲۲	وصندوق
۰,۵۱۳۵۲۱	۰,۳۱۲۸	۱,۶۴۱۶۹	۰,۰۰۲۳۵۲	شیران
۰,۰۰۰۵۴	۰,۰۰۱۳	۰,۴۱۵۳۳۷	۰,۰۰۱۰۰۴	ومعادن
۱,۵۴۴۳۱۶۸۸	۱			جمع کل

جدول ۴-۱۵ داده‌های معیار ترینر برای الگوریتم PESA-II

وزن*بتا	وزن	بتا	بازده	نماد شرکت
۰,۰۰۱۷۳۹۶۵	۰,۰۰۴۴	۰,۳۹۲۹۹۱۹	۰,۰۰۰۹۷۹۷۷	وبصادر
۰,۰۰۰۴۱۸	۰,۰۰۱۰	۰,۳۸۸۵۴۷	۰,۰۰۱۱۸۹	وکار
۰,۸۹۰۷۳۸	۰,۴۸۶۲	۱,۸۳۱۸۷۳	۰,۰۰۲۵۶۱	فاسمین
۰,۰۰۱۰۸۹	۰,۰۰۱۱	۰,۹۲۲۹۴۲	۰,۰۰۱۵۶۲	شاراک
۰,۰۰۰۵۳۳	۰,۰۰۰۰۸	۰,۶۱۷۹۹۸	۰,۰۰۱۲۲۷	شفن
۰,۱۶۳۸۰۶	۰,۱۴۷۲	۱,۱۱۲۳۰۶	۰,۰۰۱۷۷	وبانک
۰,۰۲۰۵۹۹	۰,۰۲۵۰	۰,۸۲۲۵۲۹	۰,۰۰۱۴۵۲	وساپا
۰,۰۰۱۳۰۵	۰,۰۰۲۱	۰,۶۱۳۷۰۴	۰,۰۰۱۲۲۲	وصندوق
۰,۵۴۵۲۴۹	۰,۳۳۲۱	۱,۶۴۱۶۹	۰,۰۰۲۳۵۲	شیران
۰,۰۰۰۱۷۶	۰,۰۰۰۴	۰,۴۱۵۳۳۷	۰,۰۰۱۰۰۴	ومعادن
۱,۶۲۵۱۷۲۲۳	۱			جمع کل

در جدول ۴-۱۶ به مقایسه‌ی معیار ترینر برای هر سه الگوریتم NSGA-II، SPEA2 و

PESA-II می‌پردازیم.

جدول ۴-۱۶ معیارترینر

معیار ترینر		
NSGA-II	SPEA2	PESA-II
۰,۰۰۱۱۰۳	۰,۰۰۱۰۹۹	۰,۰۰۱۰۷۰۶۲۸

بنابراین اگر سرمایه‌گذار سبد سهام خود را با استفاده از الگوریتم NSGA-II انتخاب کند،

در ازای یک واحد از ریسک سیستماتیک به صورت روزانه ۰,۰۰۱۱۰۳ مقدار از بازده روزانه

عاید سرمایه‌گذار می‌گردد و به همین ترتیب ۰,۰۰۱۰۹۹ و ۰,۰۰۱۰۷۰۶۲۸ مقدار بازدهی

روزانه در صورت انتخاب با استفاده از الگوریتم‌های SPEA2 و PESA-II عاید سرمایه‌گذار می-

گردد.

همان‌طور که معیار شارپ نیز نشان داد، معیار ترینر نیز بر این ادعا صحه گذاشته و عملکرد

مناسب تر الگوریتم NSGA-II را نشان می‌دهد.

۴-۱۰ معیار فاصله از نقطه‌ی ایده‌آل

برای مقایسه‌ی نتایج حاصل از الگوریتم‌ها، باید فاصله‌ی هر سبد سهام ایجاد شده توسط آن‌ها از نقطه‌ی متناسب با آن در نمودار مرز کارا حساب گردد که این فاصله با استفاده از فرمول فاصله‌ی هندسی به صورت فرمول (۴-۲۲) محاسبه می‌گردد:

$$D = \sqrt{(\mu_p - \mu)^2 + (\sigma_p - \sigma)^2} \quad (۴-۲۲)$$

μ بازده مربوط به نقطه‌ی ایده‌آل و σ مربوط به ریسک نقطه‌ی ایده‌آل می‌باشند.

با استفاده از فرمول بالا فاصله‌ی نقطه‌ی ایده‌آل تا بهینه‌ترین سبد سهام برای هر سه الگوریتم محاسبه گردیده است.

نقطه‌ی ایده‌آل به صورت نقطه‌ای مجازی در نظر گرفته شده است که بیشترین بازده و

کمترین ریسک را دارا می‌باشد. (م، همتی و م، اسفندیار. ۱۳۹۳)

جدول ۴-۱۷ فاصله تا نقطه ایده‌آل

D		
NSGA-II	SPEA2	PESA-II
۰,۰۰۰۲۸۴۸۶	۰,۰۰۰۳۵۴۱۹	۰,۰۰۰۳۷۱۷۴

در این مقایسه که میزان نزدیکی به بهینه‌ی پارتوی واقعی را اندازه‌گیری می‌کند الگوریتم

NSGA-II و پس از آن به ترتیب الگوریتم‌های SPEA2 و PESA-II کمترین فاصله را تا نقطه-

ی ایده‌آل خود دارند.

۱۱-۴ نتیجه‌گیری و جمع‌بندی

از داده‌های به دست آمده از هر سه الگوریتم، نتایج عملکردی آن‌ها به همراه مقایسه‌ی ریسک و بازده تک‌تک الگوریتم‌ها به صورت جدول ۴-۱۸ گردآوری شده است:

جدول ۴-۱۸ مقایسه‌ی عملکرد الگوریتم‌ها

نام الگوریتم	NSGA-II	SPEA2	PESA-II
ریسک	۰,۰۰۰۲۹۵۷۷	۰,۰۰۰۳۵۷۷۷	۰,۰۰۰۳۸۵۸۱
بازده	۰,۰۰۲۱۴۰۶	۰,۰۰۲۲۴۵۸	۰,۰۰۲۲۸۷۹
زمان اجرای الگوریتم	۱۶۵ ثانیه	۱۴۹ ثانیه	۹۳ ثانیه
فاصله تا نقطه‌ی ایده‌آل	۰,۰۰۰۲۸۴۸۶	۰,۰۰۰۳۵۴۱۹	۰,۰۰۰۳۷۱۷۴
معیار شارپ	۵,۳۸۴۷۷۵	۴,۷۴۵۶۶	۴,۵۰۹۸۷۴۷۹۵
معیار ترینر	۰,۰۰۱۱۰۳	۰,۰۰۱۰۹۹	۰,۰۰۱۰۷۰۶۲۸

با مشاهده‌ی داده‌های به‌دست آمده از تک‌تک الگوریتم‌ها، الگوریتم PESA-II ریسک بیشتری را ارائه کرده که در ازای آن بازده به دست آمده از این الگوریتم در مقایسه با دو الگوریتم دیگر نیز بیشتر است.

اما با توجه به اینکه ریسک و بازده الگوریتم NSGA-II از دو الگوریتم دیگر کمتر شد با جایگزینی این اعداد در فرمول معیار شارپ در نهایت معیار شارپ عدد بزرگتری را ارائه کرد و معیار ترینر نیز بر این ادعا صحه گذاشت که در کل نشان از عملکرد بهتر این الگوریتم است.

بنابراین با مقایسه‌ی کلی از هر سه الگوریتم، مشاهده می‌کنیم که زمان اجرای الگوریتم NSGA-II از همه بیشتر، فاصله تا نقطه‌ی ایده‌آل آن از همه کمتر، معیار شارپ و معیار ترینر این الگوریتم نیز از همه بیشتر بوده که نشان از عملکرد مناسب‌تر این الگوریتم در مقایسه با دو الگوریتم دیگر می‌باشد. بعد از الگوریتم NSGA-II، به ترتیب دو الگوریتم SPEA2 و PESA-II نتایج بهتری را ارائه کرده و عملکرد بهتری داشته‌اند.

فصل ۵: بحث و نتیجه گیری

هدف اصلی در مدیریت پورتفوی، کمک به سرمایه‌گذار در انتخاب پورتفوی بهینه می‌باشد که انتخاب آن یکی از مسائل مهم مورد بحث در گذشته و حال بوده و با پژوهش‌هایی که در این زمینه صورت گرفته، الگوهایی برای تعیین پورتفوی ارائه شده است.

همزمان با به وجود آمدن مدل‌هایی جهت بهینه‌سازی سبد سهام که مهم‌ترین آن مدل مارکوویتز بوده، لزوم شناخت روش‌های حل این مدل نیز از اهمیت بسزایی برخوردار شده‌اند. بنابراین روش‌های بهینه‌سازی تکاملی چندهدفه برای حل مدل‌های بهینه‌سازی سبد سهام به وجود آمده‌اند. لذا لزوم شناخت از میزان کارایی این روش‌ها نیز مهم جلوه کرده است. از جمله مهم‌ترین این روش‌ها الگوریتم‌های تکاملی چندهدفه NSGA-II، SPEA2، و PESA-II می‌باشد. یکی از اهداف این تحقیق بررسی میزان کارایی آن‌ها در بهینه‌سازی سبد سهام بوده است. بدین منظور در این تحقیق اینگونه عمل کرده‌ایم که با استفاده از این الگوریتم‌ها مرز کارای بهینه را به دست آوردیم.

پژوهش حاصل مرز کارای سبد سهام را با رویکرد میانگین-واریانس و با استفاده از الگوریتم‌های NSGA-II، SPEA2 و PESA-II به دست آورد. به منظور به دست آوردن مرز کارا از داده‌های ۱۰ شرکت برتر بورس ایران در بازه‌ی زمانی ۸۸/۶/۱ الی ۹۳/۶/۱ استفاده شد. تعداد تکرارها مرز کارا را برای ۱۰۰ سبد سهام بهینه به دست آورد.

هر یک از این ۱۰۰ نقطه، نحوه‌ی سرمایه‌گذاری در ۱۰ شرکت یاد شده در بورس ایران را به نحوی نشان می‌دهد که میزان بازده سبد سرمایه‌گذاری را در ازای مقدار معین از ریسک حداکثر کند. به عبارت دیگر، به دست آوردن مرز کارا با دقت بالا، این فرصت را به سرمایه‌گذار می‌دهد تا در هر وضعیتی از ریسک‌پذیری، میزان بازده مورد انتظار خود را حداکثر کند.

مقایسه‌ی نتایج به دست آمده از الگوریتم‌ها نشان می‌دهد که الگوریتم NSGA-II توانسته

در مدت زمانی مناسب و دقتی بسیار بالا، مرز کارا را به دست آورد.

۲-۵ نتیجه گیری

در مقایسه‌ی پژوهش حاضر با پژوهش‌هایی که در پیشینه‌ی تحقیق به آن‌ها اشاره شد، تحقیق حاضر نخستین پژوهشی است که برای به دست آوردن مرز کارا با استفاده از سه الگوریتم NSGA-II، SPEA2 و PESA-II انجام شده است. با وجود نیاز پژوهش به اثبات توانمندی الگوریتم‌های تکاملی چندهدفه در حل مسائل بهینه‌سازی سبد سهام، کمتر پژوهشی در بورس ایران را می‌توان یافت که به اثبات توانمندی الگوریتم‌ها پرداخته باشد.

در این پژوهش ابتدا با استفاده از نرم‌افزار Tsc client 2.0 قیمت‌های سهام ۱۰ شرکت برتر بورس اوراق بهادار تهران از زمان ۸۸/۶/۱ تا ۹۳/۶/۱ استخراج گردید. سپس توسط نرم‌افزار Excel بازده روزانه‌ی هر سهم محاسبه شد. با استفاده از نرم‌افزار MATLAB و الگوریتم‌های تکاملی چندهدفه‌ی NSGA-II، SPEA2 و PESA-II به حل مدل مارکوفیتز پرداخته گردید و در نهایت با مشاهده‌ی داده‌های بدست آمده از تک‌تک الگوریتم‌ها، نتایج زیر حاصل گردید:

۱. از نظر بازدهی، به ترتیب ابتدا الگوریتم PESA-II، سپس SPEA2 و در آخر الگوریتم

NSGA-II بیشترین تا کمترین بازده را ارائه کرده‌اند. به همین ترتیب ریسک

الگوریتم‌های PESA-II، SPEA2 و NSGA-II از زیاد به کم می‌باشد.

۲. معیار شارپ و معیار ترینر محاسبه شده برای الگوریتم NSGA-II بیشتر از دو الگوریتم

SPEA2 و PESA-II می‌باشد که نشان از عملکرد مناسب‌تر این الگوریتم در مقایسه با

دو الگوریتم دیگر است.

۳. فاصله تا نقطه‌ی ایده‌آل در الگوریتم NSGA-II در مقایسه با دو الگوریتم دیگر کمتر

می‌باشد.

۴. زمان اجرای الگوریتم NSGA-II از دو الگوریتم دیگر SPEA2 و PESA-II بیشتر بوده

است.

بعد از الگوریتم NSGA-II، به ترتیب الگوریتم‌های SPEA2 و PESA-II نتایج بهتری را ارائه کرده و عملکرد بهتری داشته‌اند.

بنابراین با توجه به هدف اصلی این نوشتار که بر مسأله‌ی انتخاب و بهینه‌سازی پورتفوی با به کارگیری اطلاعات بازده و ریسک روزانه‌ی ۱۰ شرکت برتر بورس اوراق بهادار تهران تاکید دارد، می‌توان چنین نتیجه گرفت که سبدهای حاصله با کمک الگوریتم NSGA-II عملکرد مطلوب‌تری نسبت به دو الگوریتم دیگر SPEA2 و PESA-II دارد. در نتیجه به کارگیری این ابزار برای سرمایه‌گذاران و همچنین مدیران پورتفوی می‌تواند مطلوب باشد. چگونگی تخصیص منابع و انتخاب نوع سرمایه‌گذاری از اهمیت بالایی برخوردار است. این تخصیص بهینه بالاخص در بازارهای مالی که عامل رشد و توسعه‌ی کشورها می‌باشد، بسیار مهم است.

در پژوهش حاضر، به نوعی از بهینه‌سازی تخصیص منابع با کمک الگوریتم‌های تکاملی چندهدفه پرداخته شده است. با توجه به یافته‌های پژوهش حاضر، کاربرد الگوریتم NSGA-II در انتخاب و بهینه‌سازی سبد سهام مورد تایید بوده و توصیه می‌شود. عملکرد موفق این الگوریتم در برتری نسبت به دو الگوریتم SPEA2 و PESA-II گواهی بر ادعای فوق است. استفاده از الگوریتم NSGA-II به مدیران پورتفوی توصیه می‌گردد تا عملکرد سرمایه‌گذاری خویش را افزایش بخشند.

۳-۵ پیشنهادات تحقیق براساس مبانی نظری و سوال‌ها

با توجه به یافته‌های این پژوهش، در صورتی که کیفیت و نظم، هر دو برای انتخاب سبد سهام دارای اهمیت باشند، پیشنهاد می‌شود به منظور انتخاب سبد بهینه‌ی سهام از الگوریتم NSGA-II استفاده شود زیرا بر طبق نتایج حاصل از این پژوهش کارایی بالاتر آن نسبت به الگوریتم‌های SPEA2 و PESA-II اثبات گردید.

۴-۵ پیشنهادات جهت تحقیقات آینده

با توجه به نتایج حاصله در حین و پس از تحقیق، مطالب زیر پیشنهاد می‌گردد:

۱- پیشنهاد می‌گردد تحقیق حاضر را با سبدهایی با ابعاد متفاوت (سنجیدن جواب نسبت به n) دوباره انجام داده و نتایج با یکدیگر مقایسه شود. این مقایسه می‌تواند شامل بررسی سبدهایی به تعداد بسیار زیاد باشد که تاثیر تعداد را بر جواب نشان داد و در نهایت به این پرسش پاسخ داده شود که آیا تعداد بسیار زیاد سهام تاثیر مثبتی بر سبد سهام دارد یا خیر.

۲- در پایان نامه‌ی حاضر نتایج به وسیله‌ی تعدادی از الگوریتم‌های تکاملی به دست آمدند که می‌توان از روش‌های تکاملی دیگر همچون^۱ PAES،^۲ NSAGA و^۳ DPGA و یا ترکیبی از الگوریتم‌های تکاملی استفاده کرد.

۳- در این تحقیق برای پیدا کردن بهینه‌ترین سبد سهام از فرمول D (فاصله تا نقطه‌ی ایده‌آل) استفاده شده است. می‌توان به جای آن برای یافتن بهینه‌ترین سبد سهام از تقاطع توابعی مانند تابع‌های درجه‌ی یک، دو، سه و... استفاده کرد.

^۱ Pareto-Archived Evolutionary Strategy

^۲ Non-dominated Sorting in Annealizing GA

^۳ Distance-Based Pareto GA

۴- تشکیل سبد برای خوشه‌های خاص در صنعت و یا کسب و کاری خاص مثلا دارایی‌ها،

پتروشیمی و...

۵- توسعه‌ی مدل تصادفی که قطعا نسبت به مدل حاضر به واقعیت نزدیک‌تر خواهد بود و

حل مدل با استفاده از رویکردهای بهینه‌سازی تصادفی و یا بهینه‌سازی استوار.

منابع و مراجع

- اسلامی بیدگلی، غلامرضا؛ هیبتی، فرشاد و رهنمای رودپشتی. فریدون (۱۳۸۸). تجزیه و تحلیل سرمایه‌گذاری و مدیریت سبد اوراق بهادار (چاپ سوم)، تهران: انتشارات پژوهشکده‌ی امور اقتصادی
- الهی، مرتضی؛ یوسفی، محسن و زارع مهرجردی، یحیی (۱۳۹۳). بهینه‌سازی سبدسهم با رویکرد میانگین-واریانس و با استفاده از الگوریتم فراابتکاری جست وجوی شکار، فصلنامه‌ی تحقیقات مالی دانشکده‌ی مدیریت دانشگاه تهران، ص ۵۶-۳۷
- بودی، کین مارکوس (۱۳۹۳). مدیریت سرمایه‌گذاری، ترجمه مجید شریعت پناهی. انتشارات شرکت اطلاع رسانی و خدمات بورس، چاپ دوم، ص ۱۰۱-۱۰۵
- پورزندی، ابراهیم و کیخا، مینا (۱۳۹۳). بهینه‌سازی سبد سهم با استفاده از روش k-mean و الگوریتم ژنتیک. مجله‌ی مهندسی مالی و مدیریت اوراق بهادار، شماره ۱۹
- جهانخانی، علی و پارسانیان، علی (۱۳۷۶). مدیریت سرمایه‌گذاری و ارزیابی اوراق بهادار. انتشارات دانشکده دانشگاه تهران
- رضایی پندری، عباس؛ آذر، عادل و رعیتی شوازی، علیرضا (۱۳۹۰). به کارگیری الگوریتم ژنتیک برای انتخاب پورتفولیوی بهینه. فصلنامه‌ی پژوهش‌های اقتصادی، سال شانزدهم، شماره ۴۸، ص ۱۰۹-۱۳۴
- راعی، رضا و تلنگی، احمد (۱۳۹۳)، مدیریت سرمایه‌گذاری پیشرفته، انتشارات سمت، ص ۱۰۰-۱۲۰
- سینیایی، حسن‌علی و زمانی، سعید (۱۳۹۳). تصمیم‌گیری برای انتخاب سبد سهم؛ مقایسه‌ی الگوریتم‌های ژنتیک و زنبورعسل. پژوهشنامه‌ی مدیریت اجرایی علمی-پژوهشی، سال ششم، شماره ۱۱
- سعیدی، علی و مقدسیان، ایمان (۱۳۸۹). ارزیابی عملکرد صندوق‌های سرمایه‌گذاری سهام در ایران، فصلنامه‌ی بورس اوراق بهادار. ص ۲۴-۵

- شیب الحمدي، سيداحمد؛ همتي، محمد و اسفنديار، مهدي (۱۳۹۳). کاربرد الگوريتم ژنتيك چندهدفه NSGA-II در انتخاب پورتفوي بهينه در بورس اوراق بهادار تهران، فصلنامه‌ی مدیریت، سال یازدهم، شماره ۳۴
- عبدالعلي زاده شهير، سيمين و عشقي، كوروش (۱۳۸۲). کاربرد الگوريتم ژنتيك در انتخاب يك مجموعه دارايي از سهام بورس اوراق بهادار، فصلنامه‌ی پژوهش‌های اقتصادي ايران، شماره ۱۷، ص ۱۷۵-۱۹۲
- فتاحي، پرويز (۱۳۸۸). الگوريتم‌های فراابتكاري (چاپ اول)، همدان: انتشارات دانشگاه بوعلی سینا
- كياني هرچگاني، مائده؛ نبوي چاشمي، سيدعلي و معماريان، عرفان (۱۳۹۳). بهينه‌سازي سبد سهام براساس حداقل سطح پذيرش ريسك كل و اجزای آن با استفاده از روش الگوريتم ژنتيك، فصلنامه‌ی علمی پژوهشی دانش سرمايه‌گذاري، سال سوم، شماره ۱۱
- كالپانموي، دب؛ رضايي، جعفر و داوودي منفرد، منصور (۱۳۸۷). الگوريتم زنتيك با رويکرد بهينه‌يابی چندهدفه (چاپ اول). رفسنجان: انتشارات دانشگاه ولی عصر(عج)
- گزكر، منصور؛ عباسي، ابراهيم و مقدسي، مطهره (۱۳۸۹). انتخاب و بهينه‌سازي سبد سهام با استفاده از الگوريتم ژنتيك براساس تعاريف متفاوتی از ريسك. فصلنامه‌ی مدیریت صنعتی دانشكده‌ی علوم انسانی دانشگاه آزاداسلامی، سال پنجم، شماره ۱۱
- مدرس، احمد و محمدي استخري، نازنين (۱۳۸۶). انتخاب يك سبد سهام از بين شركت‌های پذيرفته شده در بورس اوراق بهادار تهران با استفاده از مدل بهينه‌سازي الگوريتم ژنتيك، مجله توسعه و سرمايه سال اول، ص ۷۱-۹۳

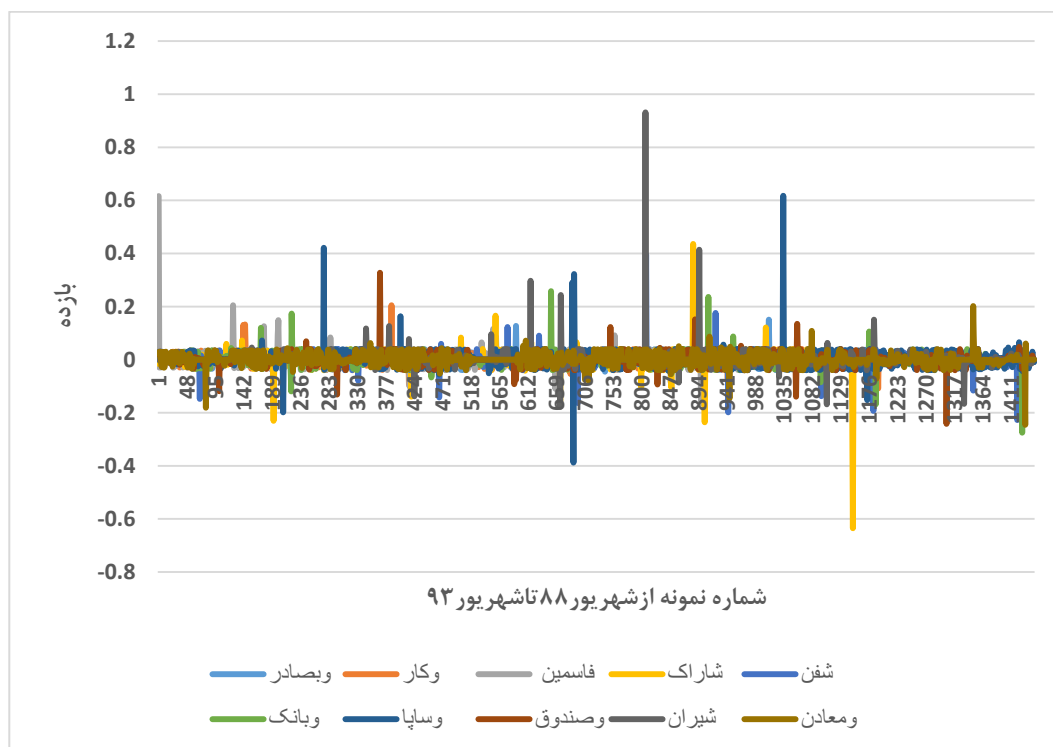
- Anagnostopoulos, k.P. & Mamanis G. (2010). Using Multiobjective Algorithms to solve the Discrete Mean-variance portfolio selection. International Journal of Economics and Finance
- Back, T, and Schwefel, H.P (1993). An over view of evolutionary algorithm for parameter optimization. Evolutionary computation Journal 1 (1), 1-23
- Back, T. (1996). Evolutionary Algorithms in Theory and practice. NewYork: Oxford university press
- Bleuler, S., Brack, M. and Zitzler, E. (2001). Multiobjective Genetic programming Reducing bloat using SPEA2. In proceeding
- Brank. J. Scheckenbach. B. Stein, M. Deb. K. & Schmeck, H. (2009). Portfolio optimization with an envelope-based multiobjective
- Bleuler, S., M. Brack, L. Thiele, and E. Zitzler (2001). Multiobjective genetic programming; reducing bloat by using SPEA2. In Congress on Evolutionary Computation.
- Chang, T.J, Yang, S.C. & Chang, K.J. (2009). Portfolio optimization problems in different risk measures using genetic algorithm. Expert systems with Applications.
- Cesarone. F, A. & Tardella, F. (2008). Efficient algorithm for mean-variance portfolio optimization with real-world constraints.
- Chiam, S. C. Tan, K. C. & Mamum, A. Al. (2008). Evolutionary multiobjective portfolio optimization in practical context. International Journal of Automation and Computing.
- Corne, D.W., Jerram, N.R., Knowles, J.D. Oates, M.J; PESA-II; Region-based selection in evolutionary multiobjective optimization. In Proceeding of the Genetic and Evolutionary Computation Conference

- Deb, K. S. Agrawal, A. Pratap, and T. Meyarivan (2000). A fast elitist non-dominated sorting genetic algorithm for multiobjective optimization; NSGA-II.Springer.
- Eckart Zitzler, Marco Laumanns, Lothar Thiele. "SPEA2: Strength Pareto Evolutionary Algorithm", TIK_Report, (2001)
- Evolutionary algorithm. European Journal of Operational Research.
- Fonseca, C.M. and Fleming, P.J. (1995). An overview of Evolutionary Algorithms in Multiobjective optimization. Evolutionary Computation.
- Ivo F.Sbalzarin, Sibylle Maller, Petros koumoutsakos, "Multi objective optimization using evolutionary algorithms", Center for Turbulance Research, (2000)
- Li, Chi-Ming Mitsuo Gen, (2007), "An Effective Decision-Based Genetic Algorithm Approach to Multiobjective Portfolio Optimization Problem ", Applied Mathematical Sciences, Vol.1, no.5, 201
- Moral-Escudero, R, Ruiz – Torrubiano. & Suarez, A. (2006). Selection of optimal investment portfolios with Cardinality constraints
- Markowitz, Harry M.(1952), "Portfolio selection", Journal of finance, 7, 77-91
- Markowitz, H. M. (1987). Mean-variance analysis in portfolio choice and capital markets. Blackwell Publishers.
- Srinivas, N. and K. Deb (1994). Multiobjective optimization using non-dominated sorting in genetic algorithms. Evolutionary Computation.

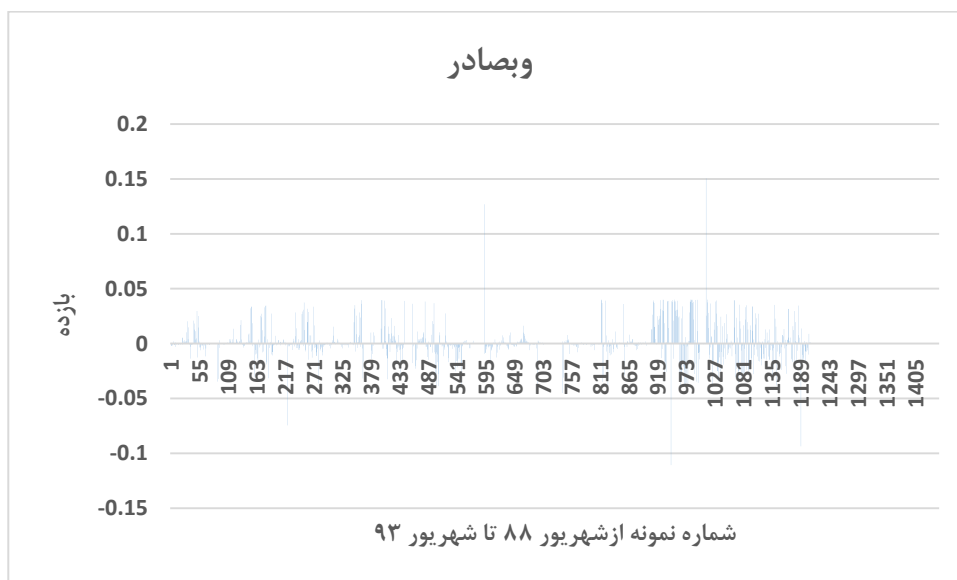
- Zitzler, E. and Thiele, L. (1998a). An evolutionary algorithm for multiobjective optimization: the strength Pareto approach. Technical Report 43, Zurich, Switzerland
- Zitzler, E. Laumanns. M., & Thiele, L. (2001). SPEA2; improving the strength Pareto evolutionary algorithm. Tik -103. Zurich, Switzerland: Department of Electrical Engineering. Swiss Federal Institute of Technology.
- Zitzler, E. and L. Thiele (1999). Multiobjective evolutionary algorithms; a comparative case study and the strength Pareto approach. IEEE Transactions on Evolutionary Computation.
- Zitzler, E., Laumanns, M., Thiele, L; SPEA2; Improving the strength Pareto evolutionary algorithm for multiobjective optimization. In; Evolutionary Methods for Design, optimization and control.

پیوست ها

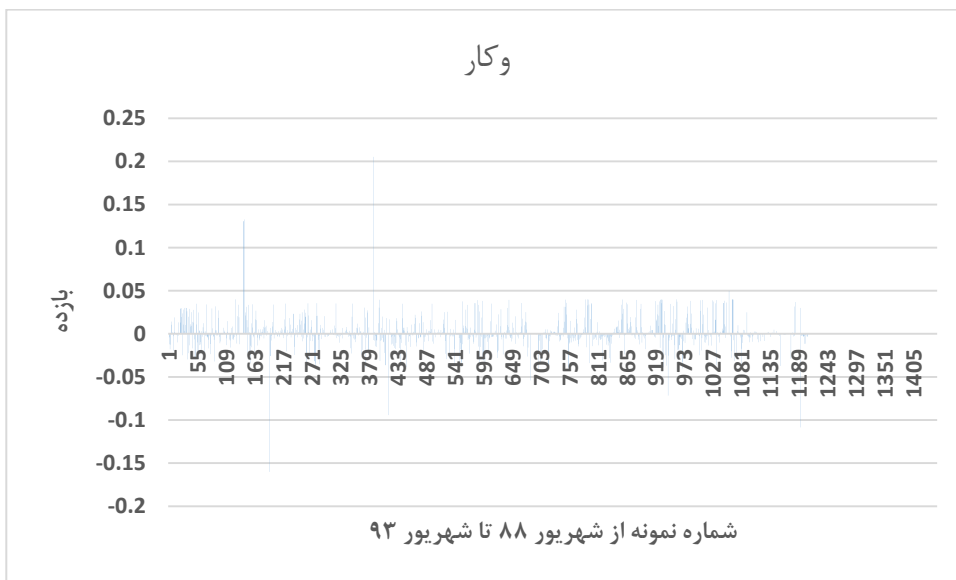
نمودار پراکندگی بازده ۱۰ شرکت برتر



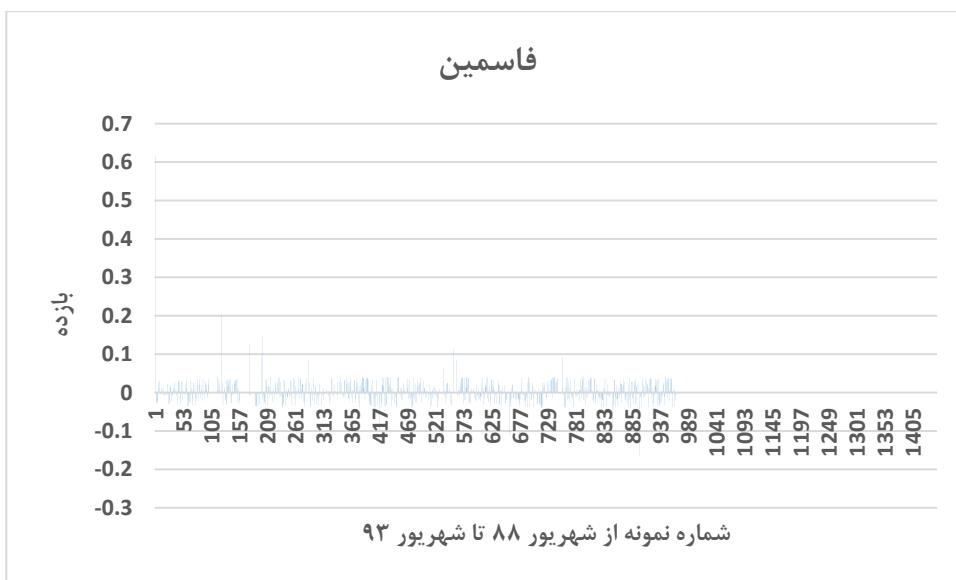
نمودار پراکندگی بازده ویشاد



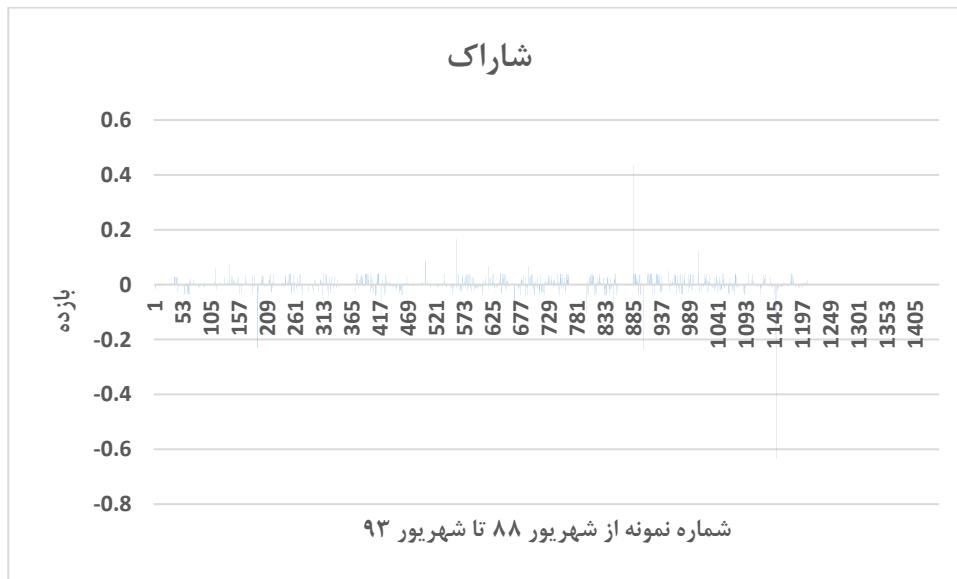
نمودار پراکندگی بازده و کار



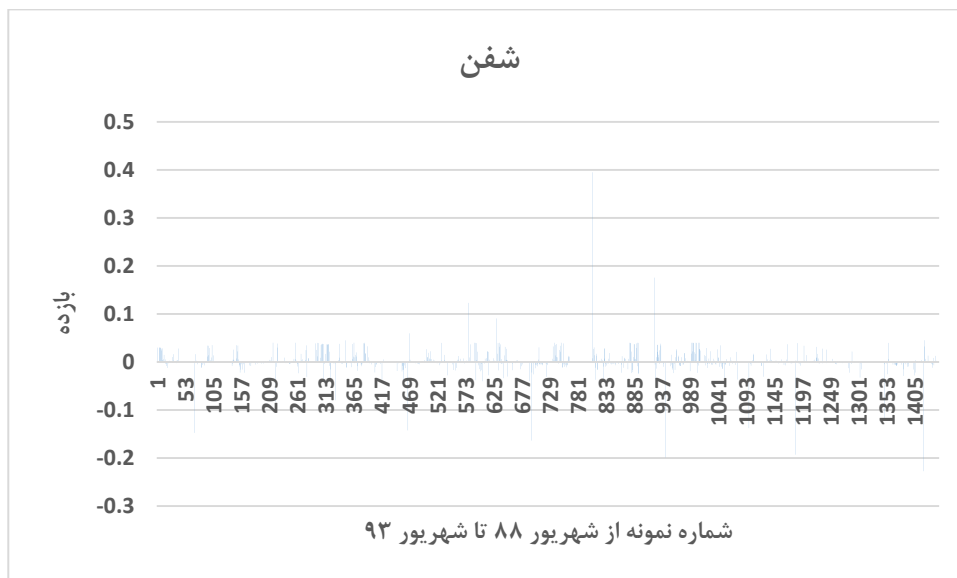
نمودار پراکندگی بازده فاسمین



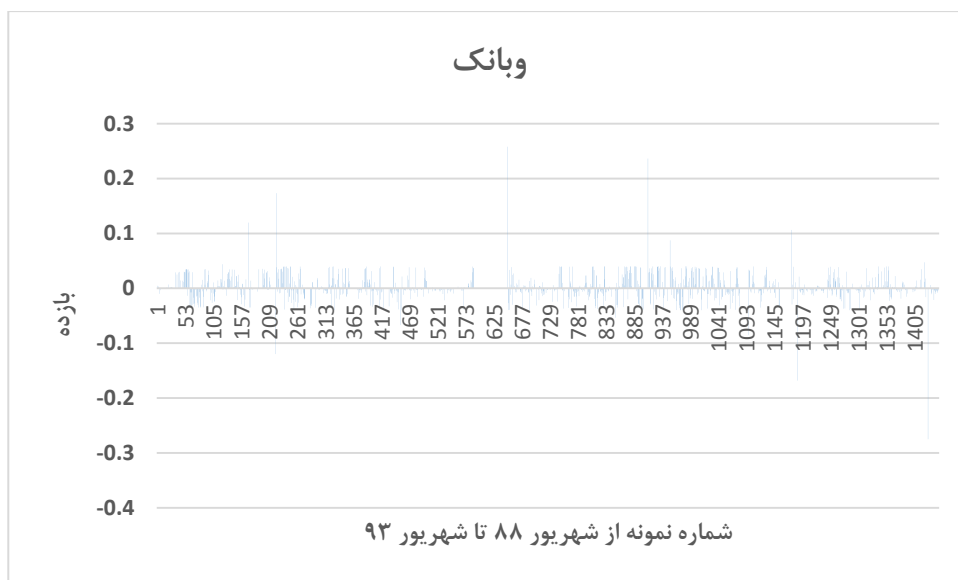
نمودار پراکندگی بازده شاراک



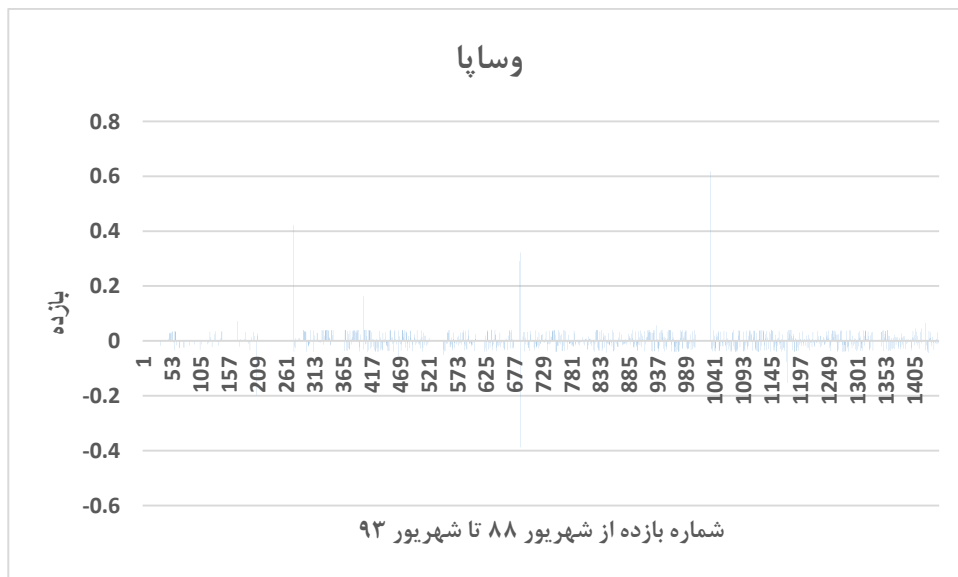
نمودار پراکندگی بازده شفن



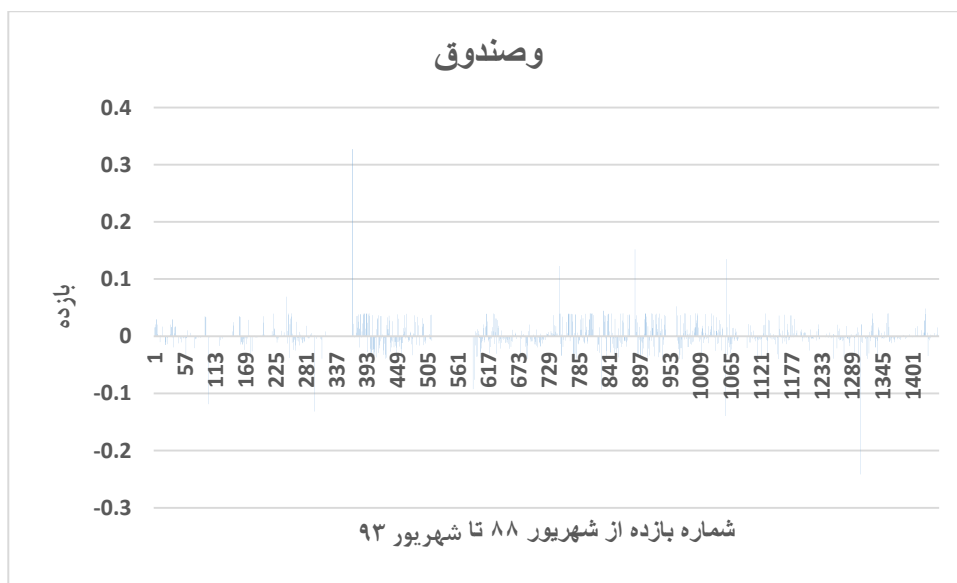
نمودار پراکندگی بازده وبانک



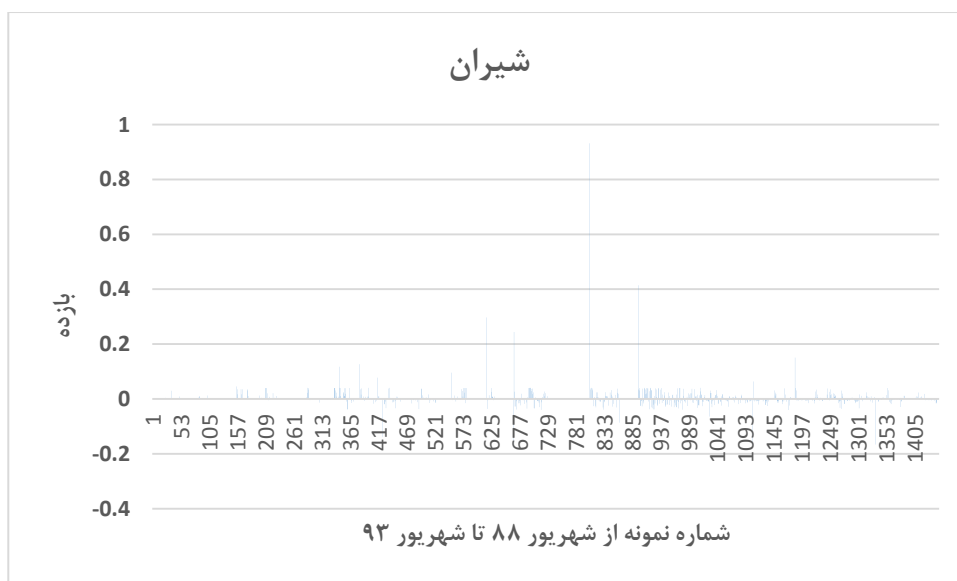
نمودار پراکندگی بازده وسایا



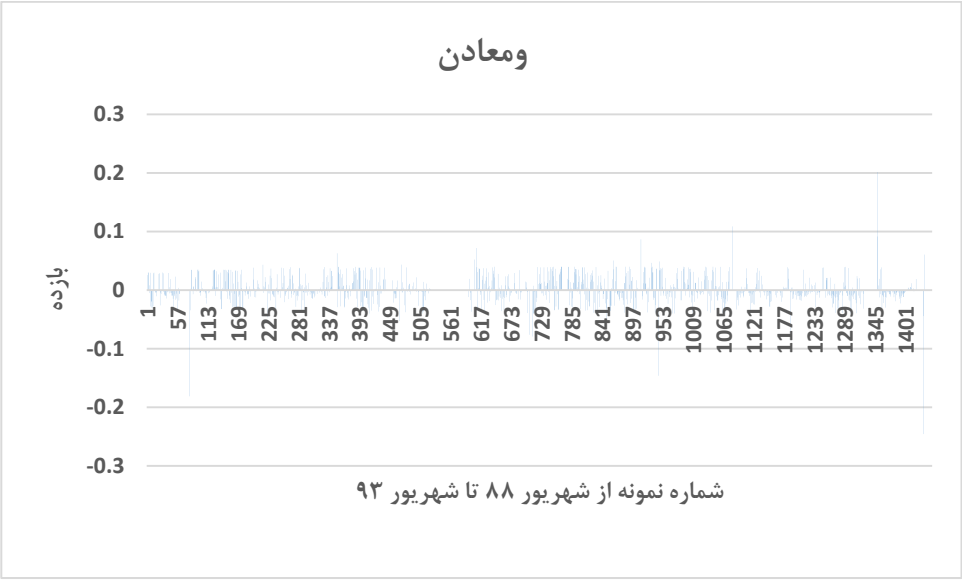
نمودار پراکندگی بازده صندوق



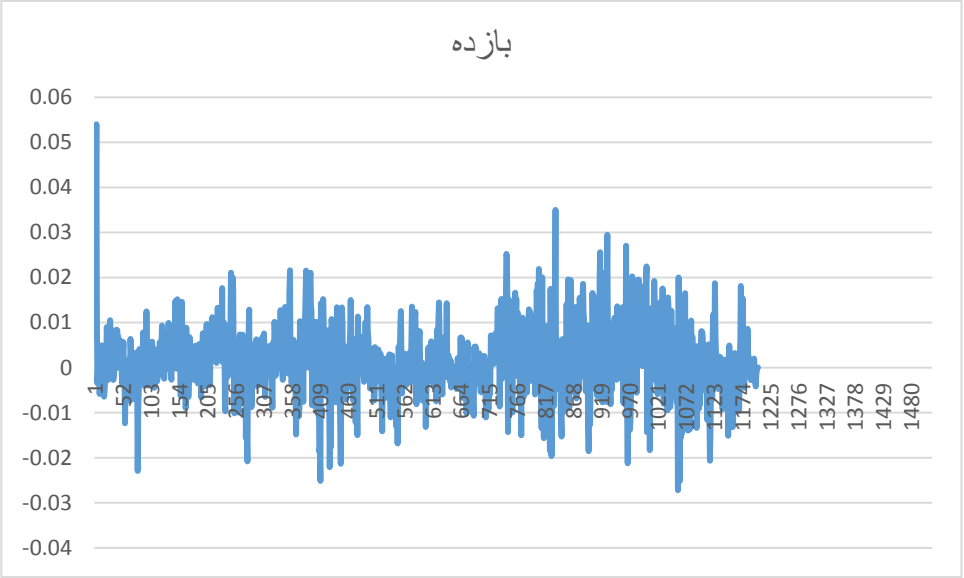
نمودار پراکندگی بازده شیران



نمودار پراکندگی بازده و معادن



نمودار پراکندگی بازده شاخص کل



Abstract:

In financial subjects securities, can be meant as a set or complex of investment that keep by an organization or individual. Portfolio optimization is for increasing the interest that is one of the main concern of investors in financial markets. Establish of securities known as an essential decision for companies. In fact selection of portfolio is a problem of allocation between different choose of securities. So selection of portfolios with high rate of return and controlled risk are one of these subjects that surveyed by lots of researchers. Current way in optimization securities doesn't have enough efficiency and for solution of this problem multi objective evolutionary algorithms were searched. In this research according to this Mean-variance Markowitz model with using multi objective evolutionary algorithms (NSGA-II, SPEA2 & PESA-II) it was tried to create portfolio. Also the data of 10 high levels company of Stock Exchange Company were as statistic sample selected and their stock surveyed from 2010, August-2014, August, then by using of portfolio performance of evaluative criteria such as Sharp and Traynor criteria. The correctness of algorithm performance have been proved. The results imply that multi objective evolutionary algorithm (NSGA-II) for selecting portfolio in compare with two algorithms SPEA2 and PESA-II is more proper and efficient for helping investors in choosing portfolio.

Keywords: multi objective optimization, mean-variance model, multi objective evolutionary algorithm



Khatam University

Faculty of Engineering

Department of Industrial Engineering

Mean-variance portfolio optimization using multi-objective evolutionary algorithm

A thesis submitted to the Graduate Studies Office
In partial fulfillment of the requirements for
The degree of M.Sc in

Supervisor:

Dr. Khadijeh Hasanlou

By:

Chista Zandkhavari

Date:

Winter 2016