۱۳۰۷
دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی
دانشکده مهندسی برق و کامپیوتر

پایان‌نامه دوره کارشناسی ارشد مهندسی برق–کنترل

انتخاب سبد سهام بهینه بر اساس روش‌های تخمین توزیع

توسط:

سیده راحله شاهرخی

استاد راهنما:

پروفسور حمید خالوزاده

آبان ۱۳۹۲

بسم الله الرحمن الرحیم

تأییدیّه هیات داوران

اعضای هیئت داوران، نسخه نهائی پایان نامه خانم: سیده راحله شاهرخی

را با عنوان: انتخاب سبد سهام بهینه بر اساس روش‌های تخمین توزیع

از نظر فرم و محتوی بررسی نموده و پذیرش آن را برای تکمیل درجه کارشناسی ارشد تأیید می‌کند.

اعضای هیئت داوران	نام و نام خانوادگی	رتبه علمی	امضاء
۱- استاد راهنما	دکتر حمید خالوزاده	استاد	
۲- استاد ممتحن	دکتر علی خاکی صدیق	استاد	
۳- استاد ممتحن	دکتر وحید جوهری مجد	دانشیار	
۴- نماینده تحصیلات تکمیلی	دکتر علی خاکی صدیق	استاد	

اظهارنامه‌ی دانشجو

موضوع پایان نامه:

انتخاب سبد سهام بهینه بر اساس روش‌های تخمین توزیع

استاد راهنما: جناب آقای دکتر حمید خالوزاده

نام دانشجو: سیده راحله شاهرخی

شماره دانشجوئی: ۹۰۰۴۸۳۴

اینجانب سیده راحله شاهرخی دانشجوی دوره کارشناسی ارشد مهندسی برق گرایش کنترل دانشکده برق و کامپیوتر دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی گواهی می‌نمایم که تحقیقات ارائه شده در این پایان نامه توسط شخص اینجانب انجام شده و صحت و اصالت مطالب نگارش شده مورد تائید می‌باشد، و در موارد استفاده از کار دیگر محققان به مرجع مورد استفاده اشاره شده است. بعلاوه گواهی می‌نمایم که مطالب مندرج در پایان نامه تاکنون برای دریافت هیچ نوع مدرک یا امتیازی توسط اینجانب یا فرد دیگری در هیچ جا ارائه نشده است و در تدوین متن پایان نامه چارچوب (فرمت) مصوب دانشگاه را بطور کامل رعایت کرده‌ام.

امضاء دانشجو:

تاریخ:

فرم حق چاپ، نشر و مالکیت نتایج

۱- حق چاپ و تکثیر این پایان‌نامه متعلق به نویسنده آن می‌باشد. هرگونه کپی برداری بصورت کل پایان‌نامه یا بخشی از آن تنها با موافقت نویسنده یا کتابخانه دانشکده مهندسی برق و کامپیوتر دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی مجاز می‌باشد.

ضمناً متن این صفحه نیز باید در نسخه تکثیر شده وجود داشته باشد.

۲- کلیه حقوق معنوی این اثر متعلق به دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی می‌باشد و بدون اجازه کتبی دانشگاه به شخص ثالث قابل واگذاری نیست.

همچنین استفاده از اطلاعات و نتایج موجود در پایان‌نامه بدون ذکر مرجع مجاز نمی‌باشد.

این پایان نامه را ضمن تشکر و سپاس بیکران و در کمال افتخار و امتنان تقدیم می نمایم به:

پدرم که همواره در رهگذر عمر یاری گر و مایه ی دلگرمی من بوده و نفس خیر و دعای روح پرورش بدرقه ی راه من است

و نیز مادرم، دریای بی کران فداکاری و عشق، که وجودم برایش همه رنج بوده و وجودش برایم همه مهر.

شکر و سپاس مخصوص وجود دیمودی است که به قدرت "قلم" انسان را متمتع به زینت "علم" نموده تا از ظلمات "جهل" به نور "هدایت" رهنمون گردد.

استاد عزیزم جناب آقای پروفسور حمید خالوزاده شایسته سپاسی درخور است که این پایان نامه نمودی از راهنمایی های ایشان بوده و الطاف وی بر لوح دل، اثری ماندگار دارد.

هم چنین از سویدای دل، صمیمانه ترین سپاس ها را تقدیم می دارم به بزرگانی که بدون یاری آن ها، نیل به این هدف غیر ممکن بود، به ویژه جناب آقای مهندس سید مصطفی کلامی هریس و دوستان عزیزم خانم ها، عصمت جمشیدی و مهسا رجبی که از مصادیق رفیق شفیق و یار همراه بوده و هستند.

چکیده

مسئله‌ی انتخاب سبد سهام بهینه، یافتن روشی بهینه برای تخصیص مقدار ثابتی سرمایه به مجموعه‌ای از دارایی‌های موجود است که با هدف داشتن حداکثر بازده مورد انتظار و در عین حال حداقل ریسک ممکن، صورت می‌گیرد. این مسئله توجه بسیاری از محققین در زمینه‌های مالی و نیز بهینه‌سازی را به خود جلب کرده است. بنابراین لازم است که الگوریتم‌های کارآمدی برای یافتن حل‌های نزدیک به بهینه، با هزینه‌های محاسباتی منطقی که برای افراد در کاربردهای عملی نیز قابل استفاده باشد، ارائه گردد. مدل‌ها و روش‌های متعددی برای حل این مسئله ارائه شده است. در این پایان‌نامه نیز الگوریتم بهینه‌سازی اجتماع مورچگان در فضای پیوسته که یکی از انواع روش‌های تخمین توزیع می‌باشد، برای حل این مسئله، مورد بررسی قرار گرفته است. هم‌چنین در عمل، یک سری قیود اساسی وجود دارند که محدودیت‌هایی از جمله سرمایه‌گذاری در تعداد معینی از دارایی‌ها را به‌دنبال خواهند داشت. در این رساله سبد سهام بهینه با درنظر گرفتن این قیود اساسی، به روش اجتماع مورچگان در فضای پیوسته برای ۲۰ شرکت از میان ۳۰ صنعت فعال در بازار بورس تهران، ارائه شده است. در این بهینه‌سازی هدف، دستیابی به حداکثر ارزش سبد سهام و حداقل ریسک ممکن با معیار اندازه‌گیری ارزش در معرض ریسک مشروط می‌باشد. سپس، با پیش‌بینی یک گام به جلو قیمت سهام برای ۱۰۰ گام آتی از روش تخمین حداقل مربعات، نحوه‌ی انتخاب سبد سهام بهینه برای آینده به سرمایه‌گذار پیشنهاد شده است. در تمامی این مراحل، با روش‌های اعتبارسنجی گوناگون کارایی الگوریتم مذکور نشان داده شده است.

کلید واژه: سبد سهام بهینه، قیود اساسی، الگوریتم‌های تخمین توزیع، بهینه‌سازی اجتماع مورچگان در فضای پیوسته.

فهرست مطالب

عنوان **صفحه**

فهرست جدول‌ها ..... د

فهرست شکل‌ها ..... ه

فصل ۱- مقدمه ۱

۱-۱- پیشگفتار ۱

۱-۲- تاریخچه ۱

۱-۳- بررسی روش‌های موجود ۲

۱-۴- هدف از انجام تحقیق ۴

۱-۵- نوآوری تحقیق ۶

۱-۶- ساختار گزارش ۶

فصل ۲- مروری بر ادبیات موضوع ۸

۲-۱- مقدمه ۸

۲-۲- مسئله‌ی انتخاب سبد سهام بهینه ۹

۲-۳- قیدهای موجود در مسئله‌ی انتخاب سبد سهام بهینه ۱۰

۲-۳-۱- مدل میانگین-واریانس برای حل مسئله‌ی انتخاب سبد سهام ۱۰

۲-۳-۲- مسئله‌ی انتخاب سبد سهام با درنظر گرفتن قیود اساسی ۱۱

۲-۴- روش‌های اندازه‌گیری ریسک ۱۳

۲-۴-۱- مدل میانگین-واریانس ۱۳

۲-۴-۲- مدل نیمه-واریانس ۱۴

۲-۴-۳- مدل قدرمطلق انحراف از میانگین ۱۶

۲-۴-۴- مدل واریانس همراه با چولگی ۱۶

۲-۴-۵- مدل ارزش در معرض ریسک ۱۷

۲-۴-۶- مدل ارزش در معرض ریسک مشروط ۲۳

۲-۵- نتیجه‌گیری ۲۶

فصل ۳- روش‌های حل مسائل بهینه‌سازی ترکیبی ۲۷

۳-۱- مقدمه ۲۷

۳-۲- مسئله‌ی بهینه‌سازی ترکیبی ۲۸
۳-۳- الگوریتم‌های فرا ابتکاری ۲۹
۳-۳-۱- الگوریتم جستجوی ممنوعه ۳۰
۳-۳-۲- الگوریتم تبرید شبیه‌سازی شده ۳۳
۳-۳-۳- الگوریتم اجتماع ذرات ۳۴
۳-۳-۴- الگوریتم بهینه‌سازی اجتماع مورچگان در فضای گسسته ۳۸
۳-۳-۵- الگوریتم ژنتیک ۴۴
۳-۴- نتیجه‌گیری ۵۰

فصل ۴- پیش‌بینی و بهینه‌سازی سبد سهام مقید توسط الگوریتم تخمین توزیع اجتماع مورچگان در فضای پیوسته ۵۲

۴-۱- مقدمه ۵۲
۴-۲- الگوریتم‌های تخمین توزیع ۵۲
۴-۲-۱- مقایسه‌ی تئوری الگوریتم‌های تخمین توزیع و الگوریتم ژنتیک کلاسیک ۵۳
۴-۲-۲- ساختار کلی الگوریتم‌های تخمین توزیع ۵۵
۴-۲-۳- انواع الگوریتم‌های تخمین توزیع ۵۶
۴-۳- الگوریتم بهینه‌سازی اجتماع مورچگان در فضای پیوسته ۵۹
۴-۳-۱- مسئله‌ی بهینه‌سازی پیوسته ۶۰
۴-۳-۲- تاریخچه‌ی الگوریتم‌های مبتنی بر مورچگان برای بهینه‌سازی در فضای پیوسته ۶۰
۴-۳-۳- ساختار کلی الگوریتم بهینه‌سازی اجتماع مورچگان در فضای پیوسته ۶۳
۴-۴- پیش‌بینی سبد سهام بهینه ۶۹
۴-۴-۱- تخمین و پیش‌بینی قیمت سهام به روش تخمین حداقل مربعات بازگشتی ۷۰
۴-۵- نتیجه‌گیری ۷۱

فصل ۵- شبیه‌سازی انتخاب سبد سهام بهینه در بازار بورس تهران ۷۳

۵-۱- مقدمه ۷۳
۵-۲- جامعه آماری ۷۳
۵-۳- بهینه‌سازی نامقید سبد سهام ۷۴
۵-۳-۱- بهینه‌سازی به روش اجتماع ذرات ۷۵
۵-۳-۲- بهینه‌سازی به روش اجتماع مورچگان در فضای پیوسته ۷۸
۵-۳-۳- مقایسه‌ی نتایج بهینه‌سازی دو الگوریتم در حالت نامقید ۸۲
۵-۴- بهینه‌سازی مقید سبد سهام ۸۴

۵-۴-۱- بهینه‌سازی به روش اجتماع ذرات ۸۵
۵-۴-۲- بهینه‌سازی به روش اجتماع مورچگان در فضای پیوسته ۸۸
۵-۴-۳- مقایسه‌ی نتایج بهینه‌سازی دو الگوریتم در حالت مقید ۹۲
۵-۵- پیش‌بینی قیمت سهام به روش تخمین حداقل مربعات بازگشتی ۹۴
۵-۶- پیش‌بینی سبد سهام بهینه ۹۷
فصل ۶- نتیجه‌گیری و پیشنهادات ۹۹
۶-۱- نتیجه‌گیری ۹۹
۶-۲- پیشنهادات ۱۰۰
فهرست مراجع ۱۰۱
واژه نامه فارسی به انگلیسی ۱۰۴
واژه نامه انگلیسی به فارسی ۱۰۷

فهرست جدول‌ها

عنوان **صفحه**

جدول ۵-۱: شرکت‌های انتخاب شده برای نمونه‌ی آماری ۷۴
جدول ۵-۲: پارامترهای الگوریتم PSO برای حل مسئله‌ی PS ۷۵
جدول ۵-۳: مقادیر بهینه‌ی حاصل از الگوریتم PSO برای حل مسئله‌ی PS ۷۷
جدول ۵-۴: پارامترهای الگوریتم ACO_R برای حل مسئله‌ی PS ۷۸
جدول ۵-۵: مقادیر بهینه‌ی حاصل از الگوریتم ACO_R برای حل مسئله‌ی PS ۸۰
جدول ۵-۶: اعتبار سنجی الگوریتم ACO_R برای حل PS به دو روش اول و دوم به‌صورت عددی ۸۱
جدول ۵-۷: مقایسه‌ی مقادیر بهینه‌ی حاصل از اجرای دو الگوریتم PSO و ACO_R برای حل مسئله‌ی PS ۸۴
جدول ۵-۸: پارامترهای الگوریتم PSO برای حل مسئله‌ی CCPS ۸۵
جدول ۵-۹: مقادیر بهینه‌ی حاصل از الگوریتم PSO برای حل مسئله‌ی CCPS ۸۷
جدول ۵-۱۰: پارامترهای الگوریتم ACO_R برای حل مسئله‌ی CCPS ۸۸
جدول ۵-۱۱: درصد وزن‌های اختصاص یافته به شرکت‌های تشکیل‌دهنده‌ی سبد سهام بهینه در حالت مقید ۸۹
جدول ۵-۱۲: مقادیر بهینه‌ی حاصل از الگوریتم ACO_R برای حل مسئله‌ی CCPS ۹۰
جدول ۵-۱۳: اعتبار سنجی الگوریتم ACO_R برای حل CCPS به دو روش اول و دوم به‌صورت عددی ۹۱
جدول ۵-۱۴: مقایسه‌ی مقادیر بهینه‌ی حاصل از اجرای دو الگوریتم PSO و ACO_R برای حل مسئله‌ی CCPS ۹۴
جدول ۵-۱۵: انحراف معیار خطای پیش‌بینی ارزش سهام به روش RLS برای ۱۰۰ روز آینده ۹۶
جدول ۵-۱۶: درصد وزن‌های بهینه‌ی شرکت‌ها در دو حالت مبتنی بر داده‌های واقعی و پیش‌بینی شده ۹۸
جدول ۵-۱۷: مقایسه‌ی مقادیر بهینه‌ی حاصل از اجرای ACO_R برای حل مسئله‌ی CCPS برای داده‌های واقعی و پیش‌بینی شده ۹۸

فهرست شکل‌ها

عنوان **صفحه**

شکل ۲-۱: نمونه‌ای از مرز کارا برای مسئله‌ی PS [۹] ۱۱
شکل ۲-۲: نمونه‌ای از مرز کارا برای مسئله‌ی CCPS [۴] ۱۳
شکل ۲-۳: محاسبه‌ی VaR با استفاده از چگالی احتمال تغییرات ارزش سبد سهام، با سطح اطمینان $x\%$ ۱۸
شکل ۲-۴: محاسبه‌ی نقطه‌ی $* \boldsymbol{p}$ ۲۲
شکل ۲-۵: تابع چگالی احتمال تغییرات بازده و مفهوم CVaR ۲۴
شکل ۳-۱: نحوه‌ی برخورد مورچه‌های واقعی در مواجهه با تغییرات محیطی ۴۰
شکل ۳-۲: چارچوب الگوریتم بهینه‌سازی اجتماع مورچگان ۴۲
شکل ۳-۳: مراحل اجرای الگوریتم ژنتیک ۴۸
شکل ۴-۱: شمای کلی الگوریتم ژنتیک ۵۳
شکل ۴-۲: شمای کلی الگوریتم تخمین توزیع ۵۴
شکل ۴-۳: روند کلی الگوریتم‌های تخمین توزیع ۵۶
شکل ۴-۴: نمایش رابطه‌ی متغیرها در الگوریتم‌های تخمین توزیع تک متغیره [۵۲] ۵۷
شکل ۴-۵: نمایش نمونه‌ای از رابطه‌ی متغیرها در الگوریتم‌های تخمین توزیع دو متغیره [۵۲] ۵۸
شکل ۴-۶: نمایش نمونه‌ای از رابطه‌ی متغیرها در الگوریتم‌های تخمین توزیع چند متغیره [۵۲] ۵۹
شکل ۴-۷: (الف) توزیع احتمال گسسته، (ب) تابع چگالی احتمال پیوسته ۶۲
شکل ۴-۸: نمونه‌ای از یک PDF کرنل گوسی (ناشی از برهم‌نهی ۵ تابع گوسی) [۵۳] ۶۴
شکل ۴-۹: ساختار بایگانی جواب‌ها در ACO_R ۶۵
شکل ۴-۱۰: چرخه‌ی رولت ۶۹
شکل ۵-۱: تابع هزینه‌ی الگوریتم PSO برای حل مسئله‌ی PS ۷۶
شکل ۵-۲: درصد وزن‌های سهام بهینه حاصل از الگوریتم PSO برای حل مسئله‌ی PS ۷۶
شکل ۵-۳: روند تغییرات CVaR و ارزش سبد سهام در حین اجرای الگوریتم PSO برای حل مسئله‌ی PS ۷۷
شکل ۵-۴: تابع هزینه‌ی الگوریتم ACO_R برای حل مسئله‌ی PS ۷۸
شکل ۵-۵: درصد وزن‌های سهام بهینه حاصل از الگوریتم ACO_R برای حل مسئله‌ی PS ۷۹

شکل ۵-۶: روند تغییرات CVaR و ارزش سبد سهام در حین اجرای الگوریتم ACO_R برای حل مسئله‌ی PS ۷۹
شکل ۵-۷: اعتبار سنجی الگوریتم ACO_R برای حل PS به دو روش اول و دوم به‌صورت شهودی..... ۸۱
شکل ۵-۸: جایگاه سبد سهام بهینه‌ی حاصل از الگوریتم ACO_R برای حل PS نسبت به جبهه‌های پارتو چندهدفه..... ۸۲
شکل ۵-۹: مقایسه‌ی تابع هزینه‌ی دو الگوریتم PSO و ACO_R برای حل مسئله‌ی PS..... ۸۳
شکل ۵-۱۰: مقایسه‌ی روند تغییرات CVaR و ارزش سبد سهام در دو الگوریتم PSO و ACO_R برای حل مسئله‌ی PS..... ۸۳
شکل ۵-۱۱: تابع هزینه‌ی الگوریتم PSO برای حل مسئله‌ی CCPS..... ۸۶
شکل ۵-۱۲: درصد وزن‌های سهام بهینه حاصل از الگوریتم PSO برای حل مسئله‌ی CCPS..... ۸۶
شکل ۵-۱۳: روند تغییرات CVaR و ارزش سبد سهام در حین اجرای الگوریتم PSO برای حل مسئله‌ی CCPS..... ۸۷
شکل ۵-۱۴: تابع هزینه‌ی الگوریتم ACO_R برای حل مسئله‌ی CCPS..... ۸۸
شکل ۵-۱۵: درصد وزن‌های سهام بهینه حاصل از الگوریتم ACO_R برای حل مسئله‌ی CCPS..... ۸۹
شکل ۵-۱۶: روند تغییرات CVaR و ارزش سبد سهام در حین اجرای الگوریتم ACO_R برای حل مسئله‌ی CCPS..... ۹۰
شکل ۵-۱۷: اعتبار سنجی الگوریتم ACO_R برای حل CCPS به دو روش اول و دوم به‌صورت شهودی.... ۹۱
شکل ۵-۱۸: جایگاه سبد سهام بهینه‌ی حاصل از الگوریتم ACO_R برای حل CCPS نسبت به جبهه‌های پارتو چندهدفه..... ۹۲
شکل ۵-۱۹: مقایسه‌ی تابع هزینه‌ی دو الگوریتم PSO و ACO_R برای حل مسئله‌ی CCPS..... ۹۳
شکل ۵-۲۰: مقایسه‌ی روند تغییرات CVaR و ارزش سبد سهام در دو الگوریتم PSO و ACO_R برای حل مسئله‌ی CCPS..... ۹۳
شکل ۵-۲۱: پیش‌بینی یک گام به جلو ارزش سهام شرکت سرمایه‌گذاری بوعلی برای ۱۰۰ روز آینده. ۹۵
شکل ۵-۲۲: خطای پیش‌بینی ارزش سهام شرکت سرمایه‌گذاری بوعلی برای ۱۰۰ روز آینده..... ۹۵
شکل ۵-۲۳: خط رگرسیون نسبت داده شده به داده‌های واقعی و پیش‌بینی شده..... ۹۶
شکل ۵-۲۴: مقایسه‌ی CVaR و ارزش سبد سهام بهینه در دو حالت مبتنی بر داده‌های واقعی و پیش‌بینی شده..... ۹۷

فصل ۱– مقدمه

۱–۱– پیشگفتار

سبد سهام مجموعه‌ای از محصولات مالی (دارایی‌ها، اوراق مشارکت و وجه نقد) است، که تحت کنترل سرمایه‌گذار می‌باشند. هر یک از شرکت‌های بزرگ مدیریت سرمایه، مسئول سرمایه‌گذاری چندین میلیارد دلاری هستند. بنابراین انتخاب سبد سهام مناسب برای دارایی‌های موجود، بخش مهم و ضروری مدیریت سرمایه بوده و یک انتخاب بهینه برای آن مسئله‌ای مهم در حوزه‌ی سرمایه‌گذاری مدرن است.

مسئله‌ی انتخاب سبد سهام بهینه، یافتن روشی بهینه برای تخصیص مقدار ثابتی سرمایه به مجموعه‌ای از دارایی‌های موجود می‌باشد. در این مسئله هدف، ماکزیمم کردن بازده مورد انتظار و در عین حال می‌نیمم کردن ریسک سرمایه‌گذاری با توجه به قیدهای گوناگون منتج شده از تمایلات سرمایه‌گذار، محدودیت‌های بازار و دیگر نیازها می‌باشد [۱]. این راهکار بهینه در تصمیم‌گیری سرمایه‌گذاران بسیار مفید بوده و برای آنان ارزش کاربردی دارد.

۱–۲– تاریخچه

افراد مختلف و با رویکردهای گوناگونی به حل مسئله‌ی انتخاب سبد سهام بهینه پرداخته‌اند. بیش‌تر مدل‌ها و روش‌های ارائه شده، در چارچوب ریاضی کلاسیکی به نام مدل میانگین-واریانس (MV)[۱] می‌باشند، که توسط مارکوویتز در اوایل دهه‌ی ۱۹۵۰ بنا نهاده شده است [۲].

در [۳] با به‌کارگیری روش‌های شاخه و کران[۲] مسئله به درستی حل شده است. عده‌ای دیگر از محققین در اواسط دهه‌ی ۱۹۶۰، الگوریتم‌های هوش محاسباتی (CI)[۳] را برای حل مسئله مطرح کردند. الگوریتم‌های CI با الگو گرفتن از فرآیندهای تکاملی طبیعی، رفتارهای گروهی حیوانات، فعالیت‌های فکری بشر و یا پدیده‌های فیزیکی واقعی و غیره، برای به‌دست آوردن حل قابل قبول مسئله در مدت زمانی معقول طراحی شده‌اند. بعضی از روش‌های انتخاب سبد سهام بر پایه‌ی الگوریتم‌های CI مانند الگوریتم‌های ژنتیک (GAs)[۴] و الگوریتم‌های بهینه‌سازی اجتماع ذرات (PSO)[۵] توسعه یافته‌اند. چانگ[۶] و

[1] Mean-Variance
[2] Branch and Bound
[3] Computational Intelligence
[4] Genetic Algorithms
[5] Particle Swarm Optimization
[6] T. J. Chang

همکارانش در [۴] برای حل مسئله‌ی انتخاب سبد سهام، سه الگوریتم مبتنی بر GA، جستجوی ممنوعه (TS)[۱] و تبرید شبیه‌سازی شده (SA)[۲] را ارائه کردند. آنان معتقدند که معمولاً کارایی و عملکرد الگوریتم مبتنی بر GA از دو الگوریتم دیگر بهتر است. فرناندز[۳] و همکارانش در [۵] از شبکه‌ی عصبی و کورا[۴] در [۶] از الگوریتم PSO برای حل مسئله استفاده کرده‌اند.

۱-۳- بررسی روش‌های موجود

در کار مارکوویتز[۵] که اساس و پایه‌ی تئوری بهینه‌سازی مدرن می‌باشد، مسئله تعیین یک مرز کارا (EF)[۶] یعنی منحنی پیوسته‌ای است، که نشان‌دهنده‌ی مصالحه‌ای بین ریسک و بازده بوده و به‌صورت مجموعه‌ای از راه‌حل‌هایی که بهینه‌ی پارتو[۷] هستند، می‌باشد. با استفاده از این حد مرز، سرمایه‌گذاران قادرند که مطابق با تحمل ریسک خودشان، تصمیم بگیرند که چه سبد سهامی را انتخاب کنند.

تحت همین شرایط و بدون قیدهای بیش‌تر، تعیین سبد سهام‌های واقع بر مرز کارا یک مسئله‌ی بهینه‌سازی کوادراتیک است که می‌توان آن‌را به آسانی و توسط روش‌های عددی استاندارد (یعنی از طریق برنامه‌ریزی دومجذوری (QP)[۸]) حل کرد. نقطه‌ی قوت این رویکرد آن است که حل‌کننده‌های QP در دسترس بوده و به‌علاوه با توجه به زمان محاسباتی‌شان کارا هستند. مشکل این رویکرد آن است که سبد سهام‌های ناشی از بهینه‌سازی نامقید، معمولاً در تعداد زیادی از محصولات اما به مقدار کم سرمایه‌گذاری می‌کنند تا از منافع حاصل از تنوع‌بخشی[۹] بهره ببرند و نیز ریسک را به‌صورت کلی کاهش دهند. پیاده‌سازی عملی این استراتژی سرمایه‌گذاری مشکل است؛ چون مدیریت سبد سهام‌های متشکل از تعداد زیادی دارایی مشکل بوده و نیز می‌تواند هزینه‌های بالای معاملاتی را به‌دنبال داشته باشد. برای برطرف کردن این نقیصه می‌توان محدودیت‌های متعددی بر نحوه‌ی تخصیص سرمایه میان دارایی‌ها اعمال کرد. به‌طور مثال می‌توان تعداد کل دارایی‌های موجود در سبد سهام مورد نظر را محدود کرد یا برای سهم سرمایه‌ای که به هر محصول اختصاص می‌یابد، کران‌های بالا و پایینی درنظر گرفت. این قیود

[1] Tabu Search
[2] Simulated Annealing
[3] A. Fernández
[4] T. Cura
[5] Harry Markowitz
[6] Efficient Frontier
[7] Pareto Optimal
[8] Quadratic Programming
[9] Diversification

حل مسئله با استفاده از روش‌های بهینه‌سازی استاندارد را مشکل می‌سازد و با اعمال آن‌ها مسئله‌ی پیدا کردن مرز کارا مشکل‌تر می‌گردد.

در حقیقت مدل MV، تحقیق در زمینه‌ی سبد سهام سرمایه‌گذاری را به‌عنوان بخشی از اصول کمّی توسعه و ترقی داده و تئوری سرمایه‌گذاری مدرن را بنا نهاد. اما این مدل هیچ محدودیتی روی تعداد دارایی‌ها ندارد و بنابراین برای کاربردهای عملی خیلی مناسب نیست.

برای تصحیح مدل استاندارد مارکوویتز و وارد کردن قیودی که به‌طور معمول و در واقعیت در مسائل انتخاب سبد سهام هستند، راه‌های گوناگونی وجود دارد. این محدودیت‌ها نتیجه‌ی شرایط و قواعد حاکم بر بازار برای سرمایه‌گذاری و یا ناشی از اولویت‌های گوناگون سرمایه‌گذاران می‌باشند. مثلاً ممکن است سرمایه‌گذار برای سهولت مدیریت سبد سهام و یا برای کاهش هزینه‌های معاملاتی مایل به محدود کردن حداکثر تعداد دارایی‌های موجود در سبد سهام‌اش باشد.

همان‌طورکه گفته شد یکی از روش‌های ارائه شده، استفاده از روش‌های شاخه و کران می‌باشد. علی رغم کارایی این روش‌ها، زمان مورد نیاز برای یافتن بهینه‌ی عمومی توسط آن‌ها با توجه به تعداد دارایی‌های موجود، به‌صورت نمایی افزایش می‌یابد.

روش‌های بهینه‌سازی کلاسیک، که مبتنی بر قواعد و قوانین ریاضی هستند، در حل بسیاری از مسائل کاربردی و روزمره، کارایی لازم را ندارند. هم‌چنین الزامات و شرایطی که این روش‌ها می‌طلبند، در اغلب موارد به قدری محدودکننده هستند، که عملاً این روش‌ها را غیرقابل استفاده و ناکارآمد می‌کنند. روش‌های بهینه‌سازی هوشمند یا روش‌های ابتکاری، با بهره‌گیری از مکانیزم‌های جستجوی مختلف، به دنبال پاسخ مسائل بهینه‌سازی می‌گردند. در الگوریتم‌های هوشمند قدیمی، جواب‌های اولیه به‌صورت تصادفی ایجاد می‌شوند و با توجه به مقدار تابع هدف و کیفیت جواب‌ها، رتبه‌بندی می‌شوند. سپس با اعمال مکانیزم‌هایی هم‌چون تقاطع[1]، جهش[2]، حرکت به سوی نخبه و تکنیک‌های انتخاب، جواب‌های دیگری به‌وجود می‌آیند که از نظر کیفیت، به‌طور احتمالی، بهتر از جواب‌های اولیه هستند. اما در این شرایط احتمال رخ دادن همگرایی زود هنگام[3] وجود دارد [۷].

[1] Crossover
[2] Mutation
[3] Pre-mature Convergence

۱-۴- هدف از انجام تحقیق

کلمه‌ی «Bourse» در اصل، لغتی فرانسوی به معنای «کیف پول» است که امروزه مفهومی بسیار گسترده‌تر به خود گرفته و یکی از معیارها و شاخص‌های اساسی اقتصادی هر کشور به حساب می‌آید.

شکل‌گیری بورس به‌طور ساده، بر اساس ایده‌ی شراکت سرمایه‌های خُرد برای تحقق‌بخشی به چشم‌اندازهای اقتصادی کلان است؛ به‌طوری‌که پس از انجام شراکت به هر یک از شرکاء سندی تعلق می‌گیرد که در اصطلاح به آن سهم می‌گویند. این سهم در ادبیات اقتصادی جزء اوراق بهادار محسوب می‌شود. اما اگر روزی یکی از شرکاء بخواهد این سهم را به فروش برساند و یا شراکت خود را بهم بزند، ساز و کار مناسب چیست؟

سازمانی که در ایران به نام سازمان بورس اوراق بهادار شناخته می‌شود، وظیفه‌ی ارزش‌گذاری سهام بر حسب عرضه و تقاضای روزانه و فراهم آوردن بستر خرید و فروش آن‌را به عهده دارد و هر کس می‌تواند در آن‌جا سهم خود را به قیمت آن روز به فروش برساند. هم‌چنین سرمایه‌گذار می‌تواند با بررسی صنایع مختلف و شناخت شرکت‌های متنوع حاضر در بورس به سرمایه‌گذاری در صنعت و شرکت دلخواه خود، به هر میزان که مایل باشد بپردازد.

از گفتار بالا چنین برمی‌آید که اهمیت بورس اوراق بهادار در متمایل کردن سرمایه‌های کوچک به سوی حرکت‌های بزرگ بوده و بدین وسیله پول در بخش خصوصی در جهتی که منافع ملی و شخصی را تأمین می‌کند، هدایت می‌شود. هم‌چنین هنگامی‌که کارخانجات و واحدهای اقتصادی دارای شرکای بیش‌تر و قوی‌تری باشند، به‌راحتی می‌توانند افزایش سرمایه دهند و در نتیجه هم سودآوری آن واحد فزونی خواهد یافت و هم در سطح کلان، اقتصاد و صنعت کشور، رشد بیش‌تری را تجربه خواهد کرد؛ به‌طوری‌که نسبت توسعه‌ی یک کشور با تعداد سهام‌داران آن رابطه‌ی مستقیمی داشته و در کشوری مانند ایالات متحده شاید بیش از ۸۰٪ مردم به‌نوعی سهام‌دار می‌باشند و در بورس سرمایه‌گذاری می‌کنند. این نرخ در ایران، در طی سال‌های اخیر و پس از اصلاح سیستم مدیریتی، رشدی مطلوب را شاهد بوده و گاهاً اعدادی فراتر از ۱۰٪ نیز شنیده شده است. اما آن‌چه مشخص است، این است که هنوز زمینه برای کار و رشد بیش‌تر بسیار است.

استقبال مردم و بخش خصوصی از سرمایه‌گذاری در بورس همان اندازه امیدوارکننده است که می‌تواند برای اهل فن نگران‌کننده باشد. بدین معنا که اگر آموزش لازم به افراد تازه وارد داده نشود و فرهنگ سرمایه‌گذاری در بورس، نهادینه نگردد، شاهد شکست جبران‌ناپذیر سرمایه‌گذاران نوظهور در بورس خواهیم بود.

رشد روزافزون اقبال عمومی به سرمایه‌گذاری در بورس از یک سو، و لزوم نگرش علمی به چگونگی این سرمایه‌گذاری از سوی دیگر، راه را برای حضور کارگزاران در این عرصه هموار کرد. کارگزاران، بنگاه‌های معاملاتی هستند که از طریق آزمون و با شرایط خاص انتخاب می‌شوند تا بتوانند طبق ضوابط حاکم بر بورس عمل کرده و به وکالت از خریدار و فروشنده‌ی غیرحرفه‌ای خود، عملیات تبادل سهام بین طرفین با در نظر گرفتن حداکثر سودآوری برای آنان را انجام دهند.

کارگزاران بورس در گذر زمان و بر پایه‌ی تجربه و تحلیل خود به این جمع‌بندی رسیدند که حتی در بهترین حالت‌ها، خرید تنها یک سهم توصیه نمی‌شود و در عوض خرید چند سهم متنوع معقول است تا بدین وسیله ریسک سرمایه‌گذاری کاهش یابد.

در واقع آن‌چه در این تحقیق به‌عنوان هدف دنبال می‌شود راه‌کاری است که از طریق آن، انتخاب سبد سهام با رویکرد کاهش ریسک و افزایش ارزش سبد سهام، به‌صورت بهینه انجام شود.

اصولاً مسائل بهینه‌سازی مربوط به انتخاب سبد سهام بهینه دارای چندین ویژگی چالش‌برانگیز مانند چندهدفه بودن، نایقینی و وجود قیدهای اساسی، پیچیده است و امروزه در کانون توجه محققان قرار گرفته است. اما در الگوریتم‌های بهینه‌سازی هوشمند ارائه شده‌ی پیشین، دیدگاه مدل احتمالی چندان مورد توجه نبوده است. جواب‌هایی که در هر تکرار از این الگوریتم‌های بهینه‌سازی حاصل می‌شوند، نمونه‌هایی از توزیعی هستند که توزیع بهینه‌ی مورد نظر ما را تخمین می‌زنند. در طی عملیاتی که در هر مرحله از الگوریتم بهینه‌سازی انجام می‌شود، گروه دیگری از جواب‌ها به‌وجود می‌آیند که توزیع تخمینی متناظر با آن‌ها، به توزیع بهینه‌ی مورد نظر نزدیک‌تر است. این الگو، برخوردی غیرمستقیم با ایجاد مدل احتمالی بهینه است و در این الگوریتم‌ها هیچ‌گاه موضوع ایجاد تابع توزیع بهینه، مورد بحث واقع نشده است.

در مقابل، گروه دیگری از الگوریتم‌های فرا ابتکاری یا فرا اکتشافی[1] به نام الگوریتم‌های تخمین توزیع (EDAs)[2] ایجاد شده‌اند که به‌طور مستقیم، با ایجاد مدل احتمالی بهینه، به‌دنبال یافتن پاسخ مسئله‌ی بهینه‌سازی هستند. این الگوریتم‌ها برخلاف الگوریتم‌های GA از مکانیزم‌هایی هم‌چون تقاطع و جهش استفاده نمی‌کنند و در نتیجه دچار همگرایی زود هنگام نخواهند شد.

مطالعات بسیاری نشان می‌دهد که در بسیاری از حوزه‌های گوناگون، خصوصاً در فرآیندهای بهینه‌سازی که در آن‌ها ارتباط میان متغیرها، پیچیده یا ناشناخته است، کارایی الگوریتم‌های EDA قابل قیاس با کارایی الگوریتم‌های GA بوده و یا حتی از آن‌ها پیشی می‌گیرد.

[1] Meta-Heuristic

[2] Estimation of Distribution Algorithms

الگوریتم‌های تخمین توزیع دارای انواع گوناگونی هستند که در این رساله، به بررسی الگوریتم تخمین توزیع بهینه‌سازی اجتماع مورچگان در فضای پیوسته (ACO_R)[1] به‌طور خاص برای حل مسئله‌ی انتخاب سبد سهام بهینه، پرداخته شده است.

اما یافتن یک راهکار برای انتخاب سبد سهام بهینه زمانی برای سرمایه‌گذار کاربردی است، که بتواند بر اساس آن، برای شیوه‌ی سرمایه‌گذاری خود در آینده برنامه‌ریزی کند. لذا در این رساله پس از اطمینان از درستی فرآیند بهینه‌سازی، قیمت سهام در آینده پیش‌بینی شده و با توجه به آن‌ها سبد سهام بهینه در آینده ارائه شده است، تا بدین وسیله با حل مسئله‌ی انتخاب سبد سهام بهینه با در نظر گرفتن قیود اساسی به روش ACO_R و با معیار ارزش در معرض ریسک مشروط (CVaR)[2]، به سرمایه‌گذاران در نحوه‌ی تخصیص سرمایه‌ی خود به دارایی‌های گوناگون برای رسیدن به حداکثر سود و حداقل ریسک، کمک شایانی گردد.

۱–۵– نوآوری تحقیق

در این تحقیق، بهینه‌سازی سبد سهام با به‌کارگیری یکی از الگوریتم‌های بهینه‌سازی فرا ابتکاری- الگوریتم تخمین توزیع اجتماع مورچگان در فضای پیوسته- انجام شده است. وارد کردن قیود و محدودیت‌هایی که به‌طور معمول و در واقعیت برای انتخاب سبد سهام متصور هستند نیز، از وجوه تمایز این بهینه‌سازی با تحقیقات پیشین در این زمینه به‌شمار می‌رود. این بهینه‌سازی با هدف کاهش ریسک و افزایش ارزش سبد سهام در بازار بورس تهران، برای ۲۰ شرکت فعال‌تر بورس با لحاظ کردن معیار سنجه‌ی ریسک CVaR و با استفاده از نرم‌افزار MATLAB انجام شده و نتایج حاصله مورد تحلیل و ارزیابی واقع شده‌اند.

ضمناً، پس از اعتبارسنجی الگوریتم مذکور در حل مسئله‌ی بهینه‌سازی مقید سبد سهام، نسبت به پیش‌بینی ارزش سهام شرکت‌های مورد بحث، برای یک گام به جلو اقدام شده و در نهایت با ارائه‌ی سبد سهام بهینه برای آینده، چشم‌اندازی روشن و کارآمد پیش روی سرمایه‌گذاران این عرصه قرار گرفته است.

۱–۶– ساختار گزارش

در بخش بعدی این گزارش، مفاهیم پایه‌ی تحقیق بیان شده است؛ به این‌صورت که ابتدا اساس تئوری سبد سهام مدرن- مدل میانگین-واریانس مارکوویتز- بیان شده و پس از آن قیود موجود در مسئله‌ی

[1] Ant Colony Optimization for Continuous Domains

[2] Conditional Value at Risk