فصلنامه پژوهش‌های اقتصادی ایران
سال شانزدهم، شماره ٤٨، پاییز ١٣٩٠، صفحات ١٣٤-١٠٩

به‌کارگیری الگوریتم ژنتیک برای انتخاب پرتفولیوی بهینه‌ای با اهداف غیرخطی (بورس اوراق بهادار تهران)

عباس رضائی پندری*، دکتر عادل آذر و علیرضا رعیتی شوازی*****

تاریخ دریافت: ١٥ اردیبهشت ١٣٨٨ تاریخ پذیرش: ٢٦ بهمن ١٣٩٠

عموماً سرمایه‌گذار در مسئله انتخاب پرتفولیو اهداف چندگانه و متناقضی از قبیل بازدهی، ریسک و نقدشوندگی مدنظر دارد. از طرف دیگر سرمایه‌گذار دارای ترجیحات خاص خود در مورد اهداف است. مرور ادبیات تحقیق نشان می‌دهد، از جمله اهدافی که در مسئله انتخاب پرتفولیو استفاده نشده است، حداقل‌کردن ریسک غیرسیستماتیک و حداکثرسازی چولگی بازدهی پرتفولیو است. در این تحقیق سعی شده است به منظور انتخاب پرتفولیوی بهینه، از بین سهام ٥٠ شرکت برتر بورس اوراق بهادار تهران مدلی چندهدفه برای بهینه‌کردن اهداف، بازدهی، ریسک سیستماتیک، ریسک غیرسیستماتیک، نقدشوندگی، ضریب چولگی و نسبت شارپ طراحی شود. مدل طراحی شده غیرمحدب است و نمی‌توان آن را با الگوریتم‌های تحقیق در عملیات بهینه کرد. بنابراین از الگوریتم ژنتیک برای بهینه‌کردن مدل استفاده شده است. مقایسه جواب حاصل از الگوریتم ژنتیک با مدل کلاسیک مارکویتز و مدل آرمانی با اهداف خطی و غیرخطی (درجه دوم) نشان می‌دهد که اگرچه بازدهی پرتفولیو حاصل از الگوریتم ژنتیک کمتر از مدل‌های دیگر است، اما کاهش بازدهی با کاهش در میزان ریسک جبران شده و معیارهای تعدیل‌شده بر مبنای ریسک بر بهتر بودن جواب حاصل از الگوریتم ژنتیک صحه می‌گذارد. همچنین پرتفولیو حاصل، تنوع بیشتری نسبت به پرتفولیو مدل‌های دیگر دارد.

واژه‌های کلیدی: الگوریتم ژنتیک، اهداف غیرخطی، پرتفولیو، بازدهی، ریسک.
طبقه‌بندی JEL: G11، C61، C49.

* دانشجوی دکتری مدیریت، دانشگاه تربیت مدرس a.rezaei.p@gmail.com
** استاد گروه مدیریت دانشگاه تربیت مدرس azara@modares.ac.ir
*** کارشناس ارشد مدیریت، دانشگاه اصفهان alireza_rayati@yahoo.com

۱. مقدمه

انتخاب مناسب طرح‌های سرمایه‌گذاری در بازار سرمایه از جمله بورس از مهم‌ترین مسائل روز است. انتخاب درست طرح‌ها نیازمند زمینه‌های مناسب سرمایه‌گذاری از یک طرف و ابزارها و تکنیک‌های تحلیل مناسب از طرف دیگر است. یک انتخاب مناسب می‌تواند اطمینان خاطر سرمایه‌گذار را به دنبال داشته باشد و کارایی را نیز در بازار افزایش دهد. در بیشتر موارد، پروژه‌های سرمایه‌گذاری مفیدی وجود دارد ولی امکان دسترسی به منابع مالی برای آنها وجود ندارد. در یک بازار سرمایه کارا، از بعد عملیاتی، سرمایه‌ها در اختیار بهترین گزینه‌های سرمایه‌گذاری قرار می‌گیرد و اولویت‌های بعدی منابع دیگر را به خود اختصاص می‌دهد. پس در برنامه‌ریزی سرمایه‌گذاری افزون بر ارزیابی و انتخاب طرح‌ها به صورت انفرادی باید به تعامل و اثرات متقابل طرح‌ها نیز توجه کرد. به عبارتی باید با این نگرش به سمت انتخاب طرح‌ها گام برداشته شود که آن را به صورت فعالیتی که در خلأ و جدا از دیگر اهداف و تصمیمات صورت می‌پذیرد، نپنداریم بلکه تمامی مسائل مهم و دخیل، در انتخاب یک طرح لحاظ شود.

یکی از مسائل مشکل‌ساز در سازمان‌هایی که در امر سرمایه‌گذاری فعالیت می‌کنند، انتخاب پرتفولیوی بهینه‌ای از میان طرح‌های سرمایه‌گذاری امکان‌پذیر و اقتصادی است، البته این ترکیب باید با توجه به محدودیت‌ها و اهداف و استراتژی‌های سازمان و با مدنظر قرار دادن درجه اهمیت اهداف صورت پذیرد. زمانی که تعداد طرح‌ها زیاد باشد تعداد بدیل‌هایی که می‌توان انتخاب نمود، بسیار زیاد خواهند بود و ارزیابی هر بدیل با توجه به معیارهایی که باید در فرآیند انتخاب طرح‌ها لحاظ نمود، کاری بسیار دشوار است.

تاکنون الگوهای زیادی برای حل مسئله مجموعه دارایی بهینه، ارائه شده که هریک با توجه به شرایط و محدودیت‌هایی طراحی شده‌اند. مدل اولیه در این رابطه با استفاده از برنامه‌ریزی درجه دوم مطرح گردید. اما این مدل در صورت وجود متغیرهای زیاد با مشکل محاسباتی روبرو بود. بنابراین متخصصین بعدی با استفاده از روش‌هایی مانند ایجاد شاخص منفرد، قدرمطلق انحراف از میانگین و تحلیل پوششی داده‌ها، تلاش‌هایی را برای تبدیل مسئله به روش خطی نموده‌اند. اگر چه این الگوها از لحاظ نظری با روش‌های برنامه‌ریزی ریاضی قابل حل هستند، اما در عمل مشکلاتی در این زمینه وجود دارد. از جمله طبیعت معیارهای ریسک، مانع از ایجاد یک راه حل عمومی می‌شود و نیز روش‌های عمومی حل مسائل غیرخطی به دلیل شکل غیرمحدب تابع هدف قابل

استفاده نیست. افزون بر این، اندازه معمول مسائل انتخاب مجموعه دارایی در دنیای واقعی شامل صدها نوع دارایی است که بازده و ریسک این دارایی‌ها با استفاده از سری‌های زمانی به‌دست می‌آید.

بدین ترتیب با توجه به ابعاد بزرگ مسئله، حل بهینه آن با بسته‌های نرم‌افزاری رایج در حل مسائل برنامه‌ریزی ریاضی امکان‌پذیر نیست. مدیران سرمایه‌گذاری نیز در عمل محدودیت‌هایی را بر مجموعه دارایی بهینه خود اعمال می‌کنند که این امر نیز موجب پیچیده‌تر شدن مسئله می‌شود. به دلیل مشکلات موجود در زمینه حل الگوی برنامه‌ریزی غیرخطی مسئله مجموعه دارایی، پژوهشگران دیگر روش‌های برنامه‌ریزی ریاضی را برای حل مسئله به‌کار برده‌اند.

اخیراً روش‌های فراابتکاری در حل مسائل بهینه‌سازی مدنظر قرار گرفته و پژوهش‌های زیادی نیز در این زمینه انجام شده است. به ویژه الگوریتم ژنتیک به عنوان یک روش فراابتکاری کارا کاربرد گسترده‌ای یافته است.

در مورد انتخاب پرتفولیوی بهینه‌ای از سهام، بعضی از اهدافی که مورد توجه هستند عبارتند از: حداکثرکردن بازدهی، حداقل‌کردن ریسک و حداکثرکردن نقدینگی که این اهداف را بایستی با توجه به محدودیت‌های کارکردی و سیاستی بهینه کرد. محدودیت کارکردی همان محدودیت بودجه است و محدودیت‌های سیاستی محدودیت‌هایی هستند که براساس شرایط مدیریتی، محیطی و قانونی بر مدل تحمیل می‌شود. مثلاً تعیین حداکثر و حداقل برای سهام و یا تأکید بر اینکه سهام خاصی حتماً انتخاب گردد. هدف اصلی این تحقیق عبارتست از: «انتخاب یک پرتفولیو از بین سهام شرکت‌های پذیرفته شده در بورس اوراق بهادار تهران با استفاده از الگوریتم ژنتیک به‌گونه‌ای که سبد حاصل شده، ضمن برآورده‌کردن معیارهای مختلف سرمایه‌گذار، ترجیهات او را نیز مدنظر قرار دهد.»

۲. بیان مسئله

بحث سرمایه‌گذاری در اوراق بهادار و تحلیل آن را می‌توان در دو چارچوب کلی و متفاوت تقسیم‌بندی نمود:[1]

1. Strong, Robert A. (2000)

۱. تجزیه و تحلیل اوراق بهادار که دربرگیرنده تخمین مزایای تک‌تک سرمایه‌گذاری‌ها به‌طور جداگانه و انفرادی با استفاده از ابزارها و روش‌های تحلیل بنیادی و تکنیکی است. این تحلیل سه مرحله تحلیل اقتصاد، صنعت و شرکت را شامل می‌شود.
۲. مدیریت پرتفوی که شامل تجزیه و تحلیل ترکیب سرمایه‌گذاری‌ها و مدیریت نگهداری مجموعه‌ای از سرمایه‌گذاری‌ها است.

مسئله انتخاب مجموعه بهینه‌ای از دارایی‌ها، یکی از نظریه‌های بازار سرمایه است که اهمیت خاصی نیز در مباحث اقتصاد خرد و کلان دارد. در اقتصاد کلان، سرمایه‌گذاری یکی از شاخص‌های مهم محسوب می‌شود و نقش تعیین‌کننده‌ای در رشد و توسعه اقتصادی ایفا می‌کند. در اقتصاد خرد نیز اهمیت تصمیمات سرمایه‌گذاری ناشی از این مسئله است که در واقع فرد سرمایه‌گذار مصرف امروز را به امید مصرف بیشتر به زمانی در آینده موکول می‌کند و فرد سرمایه‌گذاری می‌کند تا رفاه و آسایش فعلی و آتی خود را بهبود ببخشد. در واقع تصمیم بهینه سرمایه‌گذاری میزان مطلوبیت مورد انتظار سرمایه‌گذار را از مصرف آتی بیشینه می‌کند. ریسک و بازده، معیارهایی هستند که میزان مطلوبیت سرمایه‌گذار از انتخاب مجموعه دارایی‌های سرمایه‌گذاری را مشخص می‌کنند. مجموعه دارایی سرمایه‌گذاری هر سرمایه‌گذار با توجه به شرایط وی، افق زمانی، ریسک و میزان جریان نقدی مورد انتظار وی، متفاوت است و در مدیریت پرتفوی هدف، انتخاب مجموعه‌ای از سهام به نحوی که ریسک حداقل و بازده حداکثر گردد، است.

تاکنون الگوهای زیادی برای حل مسئله مجموعه دارایی بهینه ارائه شده است که هریک با توجه به شرایط و محدودیت‌هایی طرح شده‌اند. مدل اولیه در این رابطه با استفاده از برنامه‌ریزی درجه دوم (کوادراتیک) مطرح گردید. اما این مدل در صورت وجود متغیرهای زیاد با مشکل محاسباتی روبرو بود.

مدل ارائه شده توسط مارکویتز از لحاظ تئوری توسط مدل‌های خطی قابل حل است، اما در عمل با مشکلاتی مواجه است. ابتدا طبیعت معیارهای ریسک مانع از ایجاد یک راه حل عمومی می‌گردد و تکنیک‌های بهینه‌سازی کوادراتیک نیز به دلیل شکل تابع هدف که محدب نیست، قابل استفاده نیست. افزون بر این اندازه معمول مسائل انتخاب مجموعه دارایی در دنیای واقعی شامل ده‌ها و یا صدها نوع دارایی است. بازده مورد انتظار و ریسک این دارایی‌ها با استفاده از

سری‌های زمانی به‌دست آمده از صدها اطلاعات تاریخی محاسبه می‌شود. حتی بسته‌های نرم‌افزاری که بهینه‌سازی کوادراتیک را برای فرآیند میانگین- واریانس به‌کار می‌برند نیز این محدودیت را دارند. زیرا مسئله از یک محدوده مشخص بزرگتر خواهد بود. مدیران سرمایه‌گذاری نیز در عمل محدودیت‌هایی را برای مجموعه دارایی بهینه خود اعمال می‌نمایند که این امر خود موجب پیچیده‌تر شدن مسئله می‌گردد. مشکل دیگر این مدل در انتخاب دارایی با کمترین واریانس بازده است. این مسئله به انتخاب دارایی با بازده پایین منجر می‌شود. زیرا واریانس کم مستلزم بازده مورد انتظار پایین است. مدل مارکویتز همچنین محدودیت‌های غیرمنفی برای متغیرهای تصمیم درنظر می‌گیرد تا مانع از فروش دارایی گردد. این مشکلات موجب گردید که محققان افزون بر روش‌هایی که در بخش قبل عنوان گردید، از روش‌های نوین برای حل مسئله استفاده نمایند که در ذیل به برخی آنها اشاره می‌شود.

انتخاب یک مجموعه از سهام معمولاً با تعامل بین ریسک و بازده مطرح می‌شود. هرچه ریسک سبد سهام بیشتر باشد، احتمال دریافت بازده بالاتر بیشتر خواهد بود. در دنیای واقعی درجه ریسک‌پذیری افراد با یکدیگر متفاوت است و بازده دارایی‌ها نیز به دلیل وجود عوامل متعدد مؤثر بر آن غیر قابل پیش‌بینی است. به دلیل اینکه سرمایه‌گذاران نمی‌توانند در مورد آینده مطمئن باشند، بنابراین اگر مایل هستند ریسک خود را کاهش دهند، باید به متنوع‌سازی یا پرگونه‌سازی پرتفوی خود مبادرت ورزند. متنوع‌سازی تا آن اندازه اهمیت دارد که می‌توان گفت نخستین قاعده مدیریت سبد سهام، پرگونه‌سازی است.[۱]

۳. مرور ادبیات تحقیق

پرتفوی در لغت به ترکیبی از دارایی‌ها گفته می‌شود که توسط یک سرمایه‌گذار برای سرمایه‌گذاری تشکیل شود. سرمایه‌گذار می‌تواند یک فرد یا یک مؤسسه باشد. از نظر تکنیکی، یک پرتفوی دربرگیرنده مجموعه‌ای از دارایی‌های واقعی و مالی سرمایه‌گذاری شده، توسط یک سرمایه‌گذار است. مطالعه تمام جنبه‌های پرتفوی، مدیریت پرتفوی نام دارد.[۲]

تئوری‌های سرمایه‌گذاری در چند دهه اخیر از پیشرفت‌های شایانی برخوردار بوده و در سیر تاریخی خود به فرمول‌های کاربردی زیادی دست یافته است. گفته می‌شود که تجارت و سرمایه-

۱. جونز، چالز پارکر (۱۳۸۰)

۲. جونز، چالز پارکر (۱۳۸۳)

گذاری نیز از شتاب تاریخ تبعیت می‌کنند، به این معنی که حجم تجارت و سرمایه‌گذاری در قرن بیستم از گسترش خاصی پیروی نموده و به سرعت در حال افزایش است. بدون هیچ تردیدی، کاربرد فناوری‌های موجود و تجهیزات آتی در آن، در آینده‌ای نه چندان دور بر سرعت، حجم و نحوه کاربرد تجارت تأثیری شگرف خواهد گذاشت. این تغییرات موجب شده است تا معیارهای متفاوتی برای اخذ تصمیم توسط سرمایه‌گذار در مقایسه با دوره‌های گذشته به کار گرفته شود.

از عوامل مؤثر در انتخاب و انجام سرمایه‌گذاری، توجه سرمایه‌گذار به مفهوم ریسک و بازده و رابطه این دو با یکدیگر است. در قرن ۱۸ برنولی و کرامر به این نتیجه رسیدند که تصمیمات تحت شرایط عدم‌اطمینان نباید تنها براساس عایدات مورد انتظار انجام پذیرد.[۱] تا سال‌های اولیه قرن بیستم سرمایه‌گذاران برای تصمیم‌گیری در فرآیند سرمایه‌گذاری از نسبت‌های بازده سرمایه‌گذاری (ROI) استفاده می‌کردند. اگرچه این نسبت‌ها کاربرد زیادی، داشتند اما مفاهیم ارزش زمانی پول و ریسک سرمایه‌گذاری را نادیده می‌گرفتند. از دهه ۱۹۲۰ مفهوم ارزش زمانی پول با استفاده از روش‌های تنزیل وارد حوزه ادبیات مالی و سرمایه‌گذاری شد. این روش‌ها تحولی قابل توجه را در انتخاب طرح‌های سرمایه‌گذاری به‌وجود آوردند، اما همچنان رفتار متفاوت سرمایه‌گذاران در برخورد با ریسک نادیده گرفته می‌شد. در واقع با وجود اینکه نظریه مطلوبیت پول، تا حدودی به تکامل معیارهای انتخاب کمک نموده بود، اما هنوز از جامعیتی کامل برخوردار نبود. تا دهه ۱۹۵۰ ریسک یک عامل کیفی شمرده می‌شد تا اینکه هری مارکویتز برای نخستین بار ریسک را کمیت‌پذیر نمود و انحراف معیار جریانات نقدی طرح‌های سرمایه‌گذاری را به عنوان کمیت سنجش ریسک معرفی نمود.[۲] چندی بعد ویلیام شارپ دانشجوی مارکویتز با تبیین ضریب حساسیت بتا به عنوان معیار ریسک، مدلی ساده و کاربردی را به دنیای سرمایه‌گذاری عرضه نمود. این روش امروزه به مدل تک‌شاخصی معروف است. در ادامه این روند و در اواسط دهه ۱۹۶۰، شارپ و لینتنر بر پایه تئوری بازار سرمایه، مدلی را توسعه دادند که امروزه تحت عنوان مدل قیمت‌گذاری دارایی سرمایه‌ای شناخته می‌شود.[۳]

در سال ۱۹۷۶ پرفسور استفن راس مدل قیمت‌گذاری آربیتراژ را پایه‌گذاری نمود. در این مدل بازده مورد انتظار و ریسک با یکدیگر مرتبط می‌گردند.[۴] در دهه ۱۹۷۰ نظریه بازارهای کارا

۱. رایلی، فرانک کی و کیث س، براون (۱۳۸۴)

2. Markowitz, Harry M. (1959)
3. Sharpe, W. (1963)
4. Haugen, Robert A. (1994)

به بالاترین درجه نفوذ خود در مطالعات دانشگاهی رسید. شیلر، مارش ، مرتن و کمپل محققین دیگری هستند که در زمینه سرمایه‌گذاری، مطالعات ارزنده‌ای انجام دادند. در دهه ۱۹۸۰، سانگ ام.لی از جمله محققینی بود که برای اولین بار از مدل برنامه‌ریزی آرمانی برای بهینه‌سازی پرتفولیو استفاده کرد.[۱] در سال ۱۹۹۱، لای با توجه به اهداف حداکثرسازی بازدهی و چولگی و حداقل‌کردن واریانس یک مدل آرمانی ارائه کرد.[۲]

اینوگوچی در سال ۲۰۰۰ مدلی جدید را معرفی کرد که این مدل اهداف حداکثر بازدهی و حداقل واریانس بازدهی را به صورت فازی بهینه می‌کند.[۳] در سال ۲۰۰۱، آرناس مدلی طراحی کرد که در این مدل اهداف حداکثر بازدهی، حداقل واریانس بازدهی و حداکثر نقدشوندگی سهام در حالت فازی بهینه می‌شود.[۴] در سال ۲۰۰۷، بن عبدالعزیز یک مدل چندهدفه احتمالی برای انتخاب پرتفولیویی از سهام در بورس تونس طراحی کرد که در این مدل اهداف بازدهی ریسک سیستماتیک و نقدشوندگی با استفاده از مدلی احتمالی بهینه می‌گردد.[۵]

الگوریتم ژنتیک اولین بار توسط جان هولند ارائه شد و یکی از الگوریتم‌های جستجو به حساب می‌آید که اساس آن مبتنی بر ژنتیک موجودات زنده است. این الگوریتم اصل حیات مناسب‌ترین داروین را با یک سری اطلاعات تصادفی ساخت‌یافته ادغام و یک الگوریتم جستجو ایجاد می‌کند.[۶]

چان و سایرین، از الگوریتم ژنتیک برای بهینه‌سازی چندمرحله‌ای مجموعه دارایی استفاده نموده‌اند. در بهینه‌سازی چندمرحله‌ای به منظور دستیابی به مقدار بهینه ریسک و بازده در دوره‌های مشخص و با توجه به وضعیت بازارهای مالی، مجموعه دارایی تجدید ارزیابی می‌گردد.[۷] لراسچی و تاتانانزی، از الگوریتم ژنتیک به منظور یافتن اوزان بهینه یک مجموعه دارایی از اوراق بهادار از طریق کمینه‌سازی ریسک قیمت پایین استفاده نموده‌اند و نتیجه گرفته‌اند که این روش در صورت وجود جواب وسیع با پاسخ‌های بهینه متعدد مفید است.[۸] شاف و دیگران، از الگوریتم ژنتیک برای انتخاب پرتفولیو سهام با معیارهای مدل مارکویتز استفاده نموده‌اند.[۹] لین در سال ۲۰۰۱ یک مدل

1. Lee, Sang M. and A. J. Lerro (1973)
2. Lai, T. (1991)
3. Inuiguchi, M. and J. Ramk (2000)
4. Parra, M. A., Terol, A. B. and M. V. R. Urı´a. (2001)
5. Ben Abdelaziz, F., Aouni, B. and R. El Fayedh (2007)
6. Holland, J. H. (1975)
7. Chang, T. J. *et al* (2000)
8. Loraschi, A., Arnone, S. and A. Tettamanzi (1993)
9. Shoaf, J. and J. A. Foster (1996)

چندهدفه براساس الگوریتم ژنتیک برای انتخاب پرتفولیو طراحی کرد.[۱] کیم و دیگران، از برنامه‌ریزی ژنتیک برای حل مسئله انتخاب پرتفولیو استفاده نموده‌اند.[۲] لین و دیگران، در سال ۲۰۰۷ از الگوریتم ژنتیک برای انتخاب پرتفولیو با حداقل هزینه مبادلاتی، استفاده نمودند.[۳] فیشر، کاربرد الگوریتم ژنتیک را در مدیریت مجموعه دارایی شامل پروژه‌های صنعت نفت و گاز تشریح نموده است. او در این تحقیق، الگوریتم ژنتیک با توابع برازش مختلف را مورد بررسی قرار داده و نتایج حاصل شده از آن را با روش‌های دیگر بهینه‌سازی مقایسه کرده است.

در زمینه انتخاب پرتفولیویی از سهام، در ایران تحقیقات محدودی انجام گرفته است. آقای تلنگی در پایان‌نامه کارشناسی ارشد خود در سال ۱۳۷۷ مدلی فازی با اهداف حداکثر بازدهی و حداقل واریانس طراحی کرده است.[۴] همچنین در همین سال آقای راعی در رساله دکتری خود مدلی برای سرمایه‌گذاری در سبد سهام با استفاده از هوش مصنوعی طراحی کرده است. در مدل طراحی شده توسط آقای راعی نیز اهداف حداکثر بازدهی و حداقل واریانس وجود دارد.[۵] در سال ۱۳۸۲ آقای معماریانی تحقیقی در زمینه انتخاب سبد سهام با اهداف چندگانه انجام داده است.[۶] آقای خالوزاده در سال ۱۳۸۴ سبد سهام بهینه‌ای از سهام در بازار بورس ایران براساس نظریه ارزش در معرض ریسک انتخاب کرده است.[۷] نازنین محمدی در پایان‌نامه کارشناسی‌ارشد خود برای انتخاب پرتفولیویی از سهام در بورس اوراق بهادار تهران، مدلی با اهداف حداکثر بازدهی و حداقل واریانس را با استفاده از الگوریتم ژنتیک بهینه کرده است.[۸] عبدالعلی‌زاده نیز کاربرد الگوریتم ژنتیک را در انتخاب یک مجموعه دارایی از سهام بورس اوراق بهادار تهران، به‌کار برده است.[۹]

قدم آخر در فراگرد مدیریت سرمایه‌گذاری، مرحله ارزیابی عملکرد پرتفوی است. ایده اصلی در ارزیابی عملکرد، مقایسه بازده پرتفوی با بازده یک یا چند پرتفوی مناسب است. دلیل این

1. Lin, D., Wang, S. and H. Yan (2001)
2. Oh, K. J., Kim, T. Y. and S. Min (2005)
3. Lin, C. C. and T. Y. Liu (2007)

۴. تلنگی، احمد (۱۳۷۷)

۵. شاه‌علیزاده، محمد و عزیزا... معماریانی (۱۳۸۲)

۶. راعی، رضا (۱۳۷۷)

۷. خالوزاده، حمید و نسیبه امیری (۱۳۸۵)

۸. محمدی استخری، نازنین (۱۳۸۵)

۹. عبدالعلی‌زاده شهیر، سیمین (۱۳۸۱)

مقایسه روشن است، زیرا عملکرد باید به صورت نسبی و نه مطلق ارزیابی گردد. هنگامی که عملکرد پرتفوی سهام مورد ارزیابی قرار می‌گیرد، بازده کل، مدنظر سرمایه‌گذار قرار دارد که شامل دو جزء سود نقدی و منفعت سرمایه است.

از آنجا که بازدهی بدون درنظر گرفتن ریسک نمی‌تواند معیار مناسبی برای اندازه‌گیری عملکرد پرتفولیو باشد، معیارهای ارزیابی تعدیل‌شده بر مبنای ریسک بدین منظور به‌کارگرفته شد. معیار جنسن به عنوان یکی از معیارهای ارزیابی عملکرد پرتفولیو، تفاوت بین متوسط بازده پرتفولیو ($\bar{r}_p$) با بازده پرتفولیو مبنا است که این تفاوت معمولاً بازده تفاضلی نامیده می‌شود.[۱] یکی یکی دیگر از معیارهای نزدیک به معیار بازده تفاضلی، معیار نسبت بازده به نوسان‌پذیری (معیار ترینر) است.[۲] هر دو معیار جنسن و ترینر بازده را نسبت به ریسک سیستماتیک اندازه‌گیری می‌کنند. در مقابل معیار شارپ یا نسبت بازده، تغییرپذیری بازده را نسبت به ریسک کل پرتفولیو اندازه‌گیری می‌کند.[۳]

پرگونه‌سازی سبد سرمایه‌گذاری از طریق همبسته نمودن بازده سبد، با بازده شاخص بازار اندازه‌گیری می‌شود و به صورت بخشی از فرآیند برازش یک خط مشخصه بیان می‌شود. به‌گونه‌ای که بازده سبد در ازای بازده بازار رگرسیون گرفته می‌شود و ضریب تعیین (R^2) به عنوان درجه پرگونه‌سازی به‌کار می‌رود.[۴]

٤. متدلوژی تحقیق

با توجه به ماهیت موضوع تحقیق و هدف آن در انتخاب پرتفولیو با استفاده از الگوریتم ژنتیک، روش مورد استفاده در این پژوهش، نوعی روش تجویزی- ریاضی باشد. اطلاعات مورد نیاز برای اجرای این پژوهش از انواع روش‌های میدانی، کتابخانه‌ای، مرور داده‌های گذشته و مصاحبه گردآوری شد و سپس با استفاده از داده‌های به‌دست آمده سعی گردید تا مدلی ریاضی برای مسئله انتخاب پرتفولیوی سهام طراحی گردد. در این تحقیق با توجه به ماهیت موضوع مورد بررسی، مدل برنامه‌ریزی چندهدفه به عنوان یکی از تکنیک‌های کارای تحقیق در عملیات در مدل‌سازی

---

۱. راعی، رضا و احمد تلنگی (۱۳۸۳)

2. Cohen, Jerome B., Zinbarg, Edward D. and Arthor, Zeikel (1987)

3. Alexander, Gorden J., Sharp, William F. and Jefrey, V. Balley (1993)

۴. جونز، چالز پارکر (۱۳۸۳)

سیستم‌های طبیعی و غیرطبیعی به‌کار گرفته شده است. این تکنیک مدل‌سازی از دسته مدل‌های قطعی است که قابلیت مهیاسازی بستر رسیدن به سطح مطلوب از چندین هدف را داراست.

به منظور انجام این تحقیق، داده‌های شرکت‌های فعال در بورس اوراق بهادار تهران برای ۷۲ ماه منتهی به اسفند ماه سال ۱۳۸۶ انتخاب گردید و با در نظر گرفتن مفروضات زیر، مدلی چندهدفه با اهداف بازدهی، ریسک سیستماتیک، ریسک غیرسیستماتیک، نقدشوندگی، نسبت شارپ و ضریب چولگی برای انتخاب پرتفولیوی سهام از بین ۵۰ شرکت برتر بورس اوراق بهادار تهران طراحی شد و سپس مدل با استفاده از الگوریتم ژنتیک حل گردید.

۱. سرمایه‌گذاران به دنبال بازدهی با ریسک متعادل هستند. آنها ریسک‌گریزند و دارای مطلوبیت مورد انتظار افزایشی هستند.
۲. سرمایه‌گذاران پرتفوی خود را براساس حداقل‌کردن مقدار تابع برازش انتخاب می‌کنند.
۳. هر گزینه سرمایه‌گذاری تا بی‌نهایت قابل تقسیم است.
۴. محدودیت هزینه مبادلاتی و مالیات وجود ندارد.
۵. هیچ محدودیت بازاری و فروش استقراضی وجود ندارد.

با توجه به چندهدفه بودن مسئله، اجزای مدل (متغیرهای تصمیم، توابع هدف و محدودیت‌ها) به منظور طراحی مدلی چندهدفه در زیر توضیح داده شده است.

٤-١. متغیرهای تصمیم

از نگاه سیستمی، بخش عمده خروجی‌های مدل ریاضی، متغیرهای تصمیم آن است. در این تحقیق نیز متغیرهای تصمیم مدل ریاضی، براساس مشخصه‌های تعریف شده، x_i است که بیانگر مقدار سرمایه‌گذاری در سهام iام است.

٤-٢. مقادیر ثابت مدل ریاضی (پارامترهای مدل)

در طراحی هر مدل ریاضی، به مقادیر مشخصی نیاز است که به عنوان ورودی به مدل، تأثیر مستقیمی بر نتایج نهایی حل آن دارند. ضرایب فنی محدودیت‌ها و ضرایب متغیرهای به‌کار رفته در تابع هدف، از اجزای ورودی به مدل ریاضی هستند. مقادیر ثابتی که پیش از حل مدل می‌بایست از اسناد، مدارک و تجزیه و تحلیل داده‌های گردآوری شده معین گردند، شامل جدول ۱ است.

جدول ۱. پارامترهای مدل

پارامتر	شرح	پارامتر	شرح
r_i	متوسط بازدهی سهام i ام .	S_{iii}	ضریب چولگی بازدهی سهام i ام.
σ_i^2, σ_{ij}	واریانس سهام iام و کوواریانس بین سهام i ام و jام.	S_{iij}	ضریب هم‌چولگی بین سهام i، i و jام.
β_i	ریسک سیستماتیک سهام i ام.	S_{ijj}	ضریب هم‌چولگی بین سهام i، jو jام.
e_i	ریسک نقدشوندگی سهام i ام.	n_k	مقدار برازندگی برای هدف kام (max سازی)
s_i	شاخص شارپ برای سهام i ام.	p_k	مقدار برازندگی برای هدف kام (min سازی)
h_k	شاخص بی‌مقیاس‌سازی اقلیدسی برای هدف k ام.		

٤-٣. محدودیت‌های سیستمی

• محدودیت بودجه

این محدودیت بدین معنی است که سهم خریداری شده بایستی دقیقاً برابر با کل منابع موجود باشد. این محدودیت به صورت زیر در مدل نشان داده می‌شود.

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

• محدودیت حداکثر سرمایه‌گذاری در سهام

با تعیین یک حد بالا برای متغیر تصمیم، می‌توان تنوع سهام تشکیل‌دهنده پرتفولیو را افزایش داد و یک پرتفولیو با تنوع بیشتر به‌دست آورد. در تعیین حد بالا برای متغیرهای تصمیم، نظر سرمایه‌گذار تعیین‌کننده است و با توجه به حداقل تعداد سهامی که سرمایه‌گذار تمایل به سرمایه‌گذاری در آن دارد، تعیین می‌شود.

$$x_i \le U \quad i = 1,2,\ldots,n$$

• محدودیت فروش استقراضی

در بازارهای سرمایه پیشرفته، سرمایه‌گذار می‌تواند پیشنهاد فروش سهامی را ارائه دهد که مالک آن نیست، این عمل را «فروش استقراضی» می‌نامند.[1] در صورتی که فروش استقراضی منع شده باشد، به صورت محدودیت زیر در مدل نشان داده می‌شود.

$$x_i \geq ۰ \quad i = ۱,۲,\ldots,n$$

این محدودیت حداقل وزن هر سهم را در پرتفولیو برابر صفر در نظر می‌گیرد و اعداد منفی را رد می‌نماید. در صورتی که فروش استقراضی مجاز باشد این محدودیت حذف می‌گردد.

٤-٤. اهداف مدل طراحی شده

• حداکثر بازدهی پرتفولیو

با توجه به اینکه سرمایه‌گذاری برای کسب بازدهی صورت می‌گیرد و سرمایه‌گذار تمایل دارد به نحوی بودجه خود را سرمایه‌گذاری کند که بالاترین بازدهی را کسب کند، هدف متناظر با بازدهی پرتفولیو به صورت زیر تعریف می‌شود.

$$\max Z_۱ = \sum_{i=۱}^{n} x_i r_i$$

بازده سرمایه‌گذاری در سهام، در یک دوره معین شامل هرگونه وجوه نقدی دریافتی به اضافه تغییرات قیمت در طول دوره، تقسیم بر قیمت اوراق یا دارایی در زمان خرید است که برای محاسبه نرخ بازده از رابطه زیر استفاده می‌شود.

$$r_t = \frac{D_t + \left(P_t - P_{t-۱}\right)}{P_{t-۱}}$$

• حداقل ریسک غیرسیستماتیک

از آنجا که ریسک را به عنوان تغییرپذیری بازده تعریف کردیم، بنابراین هر اندازه توزیع بازده محدودتر باشد، ریسک سرمایه‌گذاری کمتر خواهد بود. در عمل از «انحراف معیار نرخ بازده» که بیانگر ویژگی‌های توزیع احتمال است، برای اندازه‌گیری ریسک استفاده می‌کنیم. با توجه به اینکه

۱. راعی، رضا و احمد تلنگی (۱۳۸۳)

واریانس، بیانگر پراکنش داده‌ها حول میانگین است، بنابراین حداقل‌کردن واریانس به عنوان یک هدف برای کاهش تغییرپذیری بازده پرتفولیو به صورت زیر تعریف می‌شود.

$$\min Z_2 = \sum_{i=1}^{n} x_i^2 \delta_i^2 + \sum_{i=1}^{n} \sum_{j=1}^{n} x_i x_j \delta_{ij}$$

• حداقل ریسک سیستماتیک پرتفولیو

ضریب حساسیت بتا، معیار اندازه‌گیری ریسک سیستماتیک اوراق بهادار است. این ضریب قسمتی از ریسک کلی که با تنوع کاهش نمی‌یابد را اندازه می‌گیرد. بتا، معیار نسبی ریسک یک سهم با توجه به پرتفولیو بازار تمامی سهام است که از رابطه زیر می‌توان برای محاسبه آن استفاده کرد.

$$\beta_i = \frac{Cov(r_i, r_m)}{Var(r_m)}$$

هدف حداقل‌کردن ریسک سیستماتیک است که به صورت زیر تعریف می‌شود.

$$\min Z_3 = \sum_{i=1}^{n} x_i \beta_i$$

• حداکثرکردن چولگی بازدهی سهام

با توجه به اینکه سرمایه‌گذار به دنبال کسب بازدهی مثبت است و تمایل دارد که سهامی انتخاب کند که توزیع بازدهی آن به سمت مثبت باشد، همچنین شرکت‌های مورد بررسی دارای چولگی بازدهی مثبت بودند، پس هدف زیر برای انتخاب پرتفولیویی با چولگی بازدهی مثبت تعریف می‌گردد.

$$\max Z_4 = \sum_{i=1}^{n} S_{iii}^3 X_i^3 + 3 \sum_{i=1}^{n} \left(\sum_{j=i}^{n} X_i^2 X_j S_{iij} + \sum_{j=1}^{i-1} X_i X_j^2 S_{ijj} \right) \quad i \neq j$$

• حداکثرکردن نقدشوندگی پرتفولیو

میزان نقدشوندگی سهام، بیانگر قابلیت تبدیل سهام به انواع دیگر سرمایه مثل پول نقد است. از آنجا که سرمایه‌گذاران تمایل دارند در مواقع ضروری به‌راحتی بتوانند سهام خود را بفروشند، برای

محاسبه ریسک نقدشوندگی یک شرکت از نسبت روزهایی که سهام آن شرکت معامله شده است به روزهایی که بازار فعالیت داشته است، استفاده می‌کنیم. بنابراین هدف حداکثرکردن نقدشوندگی پرتفولیو به صورت زیر تعریف می‌گردد.

$$\max Z_{۵} = \sum_{i=۱}^{n} x_i e_i$$

• آرمان حداکثر نسبت شارپ پرتفولیو

شارپ، معیار بازده اضافی به ریسک را به عنوان یک معیار برای تشکیل پرتفولیو معرفی کرد. بازده اضافی، اختلاف بازده بدون ریسک و بازده سهام است و سرمایه‌گذاران تمایل دارند به نحوی سرمایه‌گذاری کنند که حداکثر این نسبت حاصل شود و بازدهی بالاتری به ازای ریسکی که متحمل می‌شوند، کسب کنند.

$$\max Z_{۶} = \sum_{i=۱}^{n} x_i S_i$$

۵. ابزار هوش مصنوعی به‌کار رفته در تحقیق

الگوریتم ژنتیک یکی از الگوریتم‌های فراابتکاری است که اساس آن مبتنی بر ژنتیک ارگانیزم‌های زنده است. این الگوریتم اصل «انتخاب یا بقای اصلح» داروین را با یک سری اطلاعات تصادفی ساخت‌یافته ادغام نموده و یک الگوریتم جستجو با خصوصیت روش‌های تکامل طبیعی ایجاد می‌نماید. به عبارت دیگر در هر نسل مجموعه جدیدی از رشته‌ها با استفاده از مناسب‌ترین اجزای نسل قبل ایجاد می‌شود و اجزای جدید برای تناسب مورد آزمون قرار می‌گیرند.[۱]

الگوریتم ژنتیک از طریق شبیه‌سازی فرآیندهای ژنتیک طبیعی می‌کوشد تا مسائل دنیای واقعی را حل کند. بسیاری از مسائل دنیای صنعتی به‌ویژه سیستم‌های تولیدی بسیار پیچیده بوده و با روش‌های بهینه‌سازی سنتی و متداول قابل حل نیستند. نقش روش‌های بهینه‌سازی احتمالی نظیر الگوریتم ژنتیک در این زمینه بسیار حساس و مؤثر است.[۲] امروزه الگوریتم ژنتیک جای خود را در میان روش‌های بهینه‌سازی حل مسائل پیچیده به خوبی باز کرده است و به عنوان یک روش مؤثر و کارا برای حل مسائل پیچیده در چرخه‌های تجاری، علمی و مهندسی به حساب می‌آید. این

1. Shu-Heng, C. (2002)
2. Beasley, D., Bull, D. R. and R. M. Raulf (1993)

الگوریتم‌ها از لحاظ محاسباتی ساده اما قدرتمند هستند و فرضیات محدودکننده درخصوص فضای جستجو، آنها را محدود نمی‌نماید.

۵-۱. مزایای عمده الگوریتم ژنتیک

الگوریتم ژنتیک تفاوت‌های اساسی با روش‌های جستجو و بهینه‌سازی متداول دارند که به صورت ذیل خلاصه شده است:

أ. الگوریتم‌های ژنتیک با کدی از مجموعه جواب‌ها کار می‌کنند نه با خود آنها

ب. الگوریتم‌های ژنتیک در جمعیتی از جواب‌ها جستجو می‌کند، نه در یک جواب منفرد

ت. الگوریتم‌های ژنتیک از اطلاعات تابع هدف استفاده می‌کنند نه از مشتق یا اطلاعات کمکی دیگر

ث. الگوریتم‌های ژنتیک قواعد احتمالی را استفاده می‌کنند نه قواعد قطعی را

با توجه به تفاوت‌های گفته شده و آنچه تاکنون در مورد الگوریتم‌های ژنتیک گفته شد، می‌توان برتری‌های عمده الگوریتم‌های ژنتیک در حل مسائل بهینه‌سازی را به شرح ذیل ارائه نمود:

۱. الگوریتم ژنتیک نیازمندی‌های ریاضی خاصی نداشته و بدون توجه به عملکرد درونی مسئله به حل مسائل بهینه‌سازی می‌پردازد. این الگوریتم قادر به حل هرگونه محدودیتی (برای نمونه خطی یا غیرخطی) است که روی فضای جستجوی پیوسته، ناپیوسته و یا مختلط تعریف شده باشد.

۲. ساختار عملگرهای الگوریتم ژنتیک، این الگوریتم را قادر می‌سازد تا در یافتن جواب‌های بهینه کلی موفق عمل کند. در حالی که در روش‌های سنتی، جستجو از طریق مقایسه با نقاط همسایه انجام یافته و حرکت به سوی نقاط بهینه نسبی صورت می‌گیرد. جواب بهینه کلی تنها وقتی می‌تواند به‌دست آید که خواص همگرایی مسئله موجب شود هر جواب بهینه نسبی جواب بهینه کلی نیز باشد.

۳. الگوریتم ژنتیک انعطاف‌پذیری بالایی را برای تلفیق با تکنیک‌های ابتکاری فراهم می‌سازد و حل کارا و مؤثر یک مسئله را میسر می‌سازد.[1]

1. Goldberg, D. E. (1989)

۵-۲. طراحی الگوریتم‌های ژنتیک

الگوریتم ژنتیک روش بهینه‌یابی است که در این تحقیق برای تعیین میزان سرمایه‌گذاری در یک سبد سرمایه‌گذاری مورد استفاده قرار می‌گیرد. بدین منظور الگوریتم ژنتیکی با اجزای زیر با استفاده از برنامه‌نویسی در محیط Visual Studio 2008 طراحی شد.

۵-۲-۱. کروموزوم: رشته یا دنباله‌ای از بیت‌ها که به عنوان شکل کدشده یک جواب ممکن (مناسب یا نامناسب) از مسئله مورد نظر است.[1] در این تحقیق از کدگذاری دسیمال استفاده شد، که در آن هر بیت، یکی از مقادیر دهدهی را می‌پذیرد. کروموزم مسئله حاضر دارای ۵۰ ژن است. مقدار دسیمال هر ژن بیانگر یکی از مجموعه جواب‌های مربوط به میزان سرمایه‌گذاری در هر شرکت است.

۵-۲-۲. تابع هدف و برازندگی: تابع هدف برای تعیین اینکه متغیرها چگونه در محدوده مسئله ایفای نقش می‌نمایند، مورد استفاده قرار می‌گیرد و تابع برازندگی معمولاً برای تبدیل مقدار تابع هدف به یک مقدار برازندگی وابسته به آن مورد استفاده قرار می‌گیرد.[2] به عبارت دیگر داریم:

$$F(y) = g\big(f(x)\big)$$

به طوری که f تابع هدف بوده و تابع g مقدار تابع هدف را به یک عدد غیرمنفی تبدیل می‌نماید و F مقدار برازندگی مربوط است. مناسب بودن یا نبودن جواب با مقداری که از تابع برازندگی به‌دست می‌آید، سنجیده می‌شود. چون مسئله از نوع بهینه‌سازی است، تابع برازندگی با تابع هدف مسئله یکسان است. تابع برازندگی این مسئله به صورت رابطه زیر تعریف می‌گردد:

$$F(x) = \frac{n_1 - Z_1}{h_1} + \frac{Z_2 - p_2}{h_2} + \frac{Z_3 - p_3}{h_3} + \frac{n_4 - Z_4}{h_4} + \frac{n_5 - Z_5}{h_5} + \frac{n_6 - Z_6}{h_6}$$

که در آن

Z_1 تا Z_6 به ترتیب: تابع اهداف بازدهی، ریسک غیرسیستماتیک، ریسک سیستماتیک، ضریب چولگی، ریسک نقدشوندگی و نسبت شارپ

1. Beasley, D., Bull, D. R. and R. M. Raulf (1993)
2. Schmitt, L. M. (2001)

n_k : مقدار برازندگی برای هدف k ام (max سازی)

p_k : مقدار برازندگی برای هدف k ام(min سازی)

h_k **:** شاخص بی‌مقیاس‌سازی اقلیدسی برای هدف k ام است.

۵-۲-۳. اندازه جمعیت و تعداد تولید: تعداد کروموزوم‌ها را اندازه جمعیت می‌گویند. در این تحقیق، اندازه جمعیت در آزمایش‌های مختلف مورد بررسی قرار گرفته و جمعیت از یک نسل به نسل دیگر به منظور یافتن جواب بهتر با استفاده از روش‌های تولید مثل بهبود یافته است.[1] اندازه جمعیت این تحقیق، ۱۵۰ کروموزوم و تعداد نسل ۲۵۰ است. از آنجا که تابع برازندگی مورد نظر ما در پی مینیمم کردن مقدار خطاست، ارزش آن طی نسل‌های مختلف، سیر نزولی دارد. پس از آزمودن تعداد نسل‌های مختلف، با نرخ جهش متناسب، بهترین ارزش برازندگی به‌دست آمده ۰/۰۷۹ است.

۵-۲-٤. فرآیند باز تولید: در فرآیند باز تولید، کروموزوم‌ها با توجه به مقدار تابع برازندگی آنها انتخاب شده و برای اعمال عملگرهای دیگر به‌کارگرفته می‌شوند. بیکر (۱۹۸۵) یک رویه غیرپارامتری برای فرآیند باز تولید ارائه کرده است. در این روش جمعیت بر طبق تابع برازش مرتب می‌شود.[2] سپس به هر کروموزوم یک شمارنده فرزند که تابعی از رتبه‌اش است، تخصیص داده می‌شود. به این ترتیب می‌توان کپی مناسبی از هر والد را تولید و به نسل بعدی منتقل کرد.

در این تحقیق ۵۰ کروموزوم برتر براساس مقایسه با ارزش برازندگی انتخاب شده و هر کدام از این کروموزوم‌های منتخب به تولید سه کروموزوم در نسل بعدی می‌پردازند. یک کروموزوم به عنوان بهینه‌ترین کروموزوم مستقیم به نسل بعدی منتقل می‌گردد (براساس مدل نخبه‌گرا).

۵-۳. عملگرهای ژنتیک

برای پیدا کردن یک نقطه در فضای جستجو باید از عملگرهای ژنتیک استفاده نمود. دو مورد از این عملگرها عبارتند از :

1. Schmitt, L. M. (2001)
2. Shu-Heng, C. (2002)

۱. عملگر جهش: جهش یک فرآیند تصادفی است که در آن محتوای یک ژن با ژن دیگر برای تولید یک ساختار ژنتیک جدید جایگزین می‌گردد.[1] عملگر جهش استفاده شده در این تحقیق عملگر یکنواخت است. به این ترتیب که یکی از ژن‌ها را به تصادف انتخاب نموده و مقدار آن را برابر با مقدار دیگری که به صورت تصادفی از دامنه بین حد بالا و پایین مقدار ژن‌ها انتخاب می‌شود، قرار می‌دهد. نرخ جهش استفاده شده در این تحقیق ۰/۱ است. مقدار جهش در این تحقیق ۰/۰۰۱ است که به مقدار قبلی در ژن اضافه می‌گردد. وقتی یک ژن بطور تصادفی انتخاب و افزایش یافت، ژن دیگر بطور تصادفی انتخاب و کاهش می‌یابد.

۲. عملگر تقاطعی: عملگر اصلی برای تولید کروموزوم‌های جدید در الگوریتم ژنتیک، عملگر تقاطع است. این عملگر مشابه همتای خودش در طبیعت، افراد جدیدی تولید می‌نماید که اجزای (ژن‌های) آن از والدینش تشکیل می‌گردد. در این تحقیق با توجه به محدودیت‌های مسئله، والدین از یک کروموزوم انتخاب می شوند(عملگر معکوس).

٦. اجرای مدل

انتخاب پرتفولیو بهینه از بین ۵۰ شرکت برتر بورس اوراق بهادار تهران مدنظر است که در جدول ۴، این ۵۰ شرکت به همراه متغیر تعریف شده برای آنها و پارامترهای لازم برای اجرای مدل نشان داده شده است.

در جدول ۲، ستون اول شرکت‌های مورد بررسی و ستون دوم متغیر تصمیم تعریف‌شده برای هر شرکت را نشان می‌دهد. ستون سوم بازدهی ماهیانه مورد انتظار برای شرکت است که با استفاده از میانگین بازدهی ۷۲ ماه منتهی به اسفند ماه ۸۶ به‌دست آمده است. برای محاسبه ریسک غیرسیستماتیک در ستون چهارم از واریانس بازدهی در دوره مورد بررسی استفاده شده است. ستون پنجم ریسک سیستماتیک (ضریب حساسیت بتا) و ستون ششم بیانگر ضریب چولگی بازدهی سهام در بازه مورد بررسی است (از آنجا که هدف بیشینه‌سازی چولگی پرتفولیو است، در این تحقیق از ۵۰ شرکت برتر بورس که ضریب چولگی مثبت داشتند استفاده شده است). ستون هفتم ریسک نقدشوندگی هر شرکت و آخرین ستون بیانگر نسبت شارپ است که بازده اضافی

1. Schmitt, L. M. (2001)

سهام را نسبت به ریسک غیرسیستماتیک نشان می‌دهد. برای محاسبه نسبت شارپ بازده بدون ریسک ۱۵/۵٪ (متوسط نرخ بازده اوراق تجاری) در نظر گرفته شده است.

جدول ۲. داده‌های محاسبه شده ۵۰ شرکت برتر بورس اوراق بهادار تهران برای ۷۲ ماه منتهی به اسفند ماه سال ۱۳۸٦

نام شرکت	متغیر تصمیم	بازدهی	ریسک غیرسیستماتیک	ریسک سیستماتیک	ضریب چولگی بازدهی	ریسک نقدشوندگی	نسبت شارپ
ایران خودرو	X_1	۳/۳۵	۱۶۷/۷	۲/۰۴	۳/۸۷۲	۰/۸۹	۰/۲۶
ایران خودرو دیزل	X_2	۴/۰۱	۳۱۷/۵	۲/۷۳	۳/۸۷	۰/۸۵	۰/۲۲
بانک اقتصاد نوین	X_3	۹/۸۳	۱۳۲۳/۵	۳/۱۸	۳/۸۶۲	۰/۸۳	۰/۲۷
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮
نفت بهران	X_{49}	۳/۴۸	۸۹/۱	۰/۴۷	۳/۸۵۲	۰/۸	۰/۳۷
نفت پارس	X_{50}	۲/۷۸	۱۱۴/۵	۰/۶۳	۳/۸۶۲	۰/۷۷	۰/۲۶

٦-۱. سطوح محدودیت‌ها و مقدار برازندگی

با مطالعه موارد مشابه و مصاحبه از کارشناسان بورس و کارگزاران، حداکثر مجاز سرمایه‌گذاری در هر سهام ۰/۱ تشخیص داده شد که در مدل اعمال می‌گردد.

مقدار برازندگی

مقدار برازندگی برای اهداف، حداکثر بازدهی پرتفولیو، حداقل واریانس بازدهی پرتفولیو، حداکثر ضریب چولگی، حداکثرکردن نقدشوندگی پرتفولیو و حداکثر نسبت شارپ پرتفولیو با حل مسئله برنامه‌ریزی تک‌هدفه برای آن آرمان به ترتیب ۱۱/۸۷۵، ۱۰/۳۷۱، ۰/۹۹، ۰/۸۷۵ و ۰/۲۲۷ تعیین گردید. از آنجا که بتای معمولی بازار برابر یک است و سهامی که بتای آنها از یک بیشتر است، سهام پرریسک هستند که پراکندگی بازده آنها زیاد است و برعکس، سهامی که بتای آنها کمتر از یک است، سهام کم ریسک هستند که پراکندگی بازده آنها کمتر است، بنابراین می‌توان برای هدف ریسک سیستماتک مقدار برازندگی را برابر ۱ قرار داد.

۷. جواب مدل

نتیجه حاصل از به‌کارگیری الگوریتم ژنتیک در جدول ۳ ارائه شده است. جواب‌های ارائه شده بیانگر نسبتی از بودجه که در سهام هر شرکت بایستی سرمایه‌گذاری شود، است. برای نمونه عدد

۴/۳۳ در سطر دهم و ستون آخر بیانگر این است که سرمایه‌گذار برای حداقل‌کردن تابع برازندگی بایستی ۴/۳۳٪ از سرمایه خود را در متغیر $X_{۴۹}$ (شرکت نفت بهران) سرمایه‌گذاری کند.

جدول ۳. جواب حاصل از به‌کارگیری الگوریتم ژنتیک

متغیر تصمیم	مقدار جواب	متغیر تصمیم	مقدار جواب	متغیر تصمیم	مقدار جواب	متغیر تصمیم	مقدار جواب	متغیر تصمیم	مقدار جواب
$x_{۱}$	۰	$x_{۱۱}$	۱/۸۹	$x_{۲۱}$	۱/۰۴	$x_{۳۱}$	۰/۶۸	$x_{۴۱}$	۳/۷۷
$x_{۲}$	۰/۵۱	$x_{۱۲}$	۰	$x_{۲۲}$	۰	$x_{۳۲}$	۰	$x_{۴۲}$	۰/۹۲
$x_{۳}$	۱/۰۶	$x_{۱۳}$	۰/۵	$x_{۲۳}$	۹/۲۶	$x_{۳۳}$	۰/۸۲	$x_{۴۳}$	۲/۰۵
$x_{۴}$	۷/۸۸	$x_{۱۴}$	۰/۴۶	$x_{۲۴}$	۰	$x_{۳۴}$	۰/۵۷	$x_{۴۴}$	۰
$x_{۵}$	۸/۲۴	$x_{۱۵}$	۰/۶۳	$x_{۲۵}$	۰/۳۴	$x_{۳۵}$	۰/۵۷	$x_{۴۵}$	۸/۱۶
$x_{۶}$	۷/۷۹	$x_{۱۶}$	۰	$x_{۲۶}$	۹/۹۱	$x_{۳۶}$	۵/۹۳	$x_{۴۶}$	۰/۰۹
$x_{۷}$	۰/۷۷	$x_{۱۷}$	۱/۹۵	$x_{۲۷}$	۰/۵۳	$x_{۳۷}$	۰	$x_{۴۷}$	۰/۲۳
$x_{۸}$	۱/۴۳	$x_{۱۸}$	۱/۴۹	$x_{۲۸}$	۰	$x_{۳۸}$	۰	$x_{۴۸}$	۰/۱۱
$x_{۹}$	۰	$x_{۱۹}$	۰/۱۴	$x_{۲۹}$	۱/۳۱	$x_{۳۹}$	۹/۹۲	$x_{۴۹}$	۴/۳۳
$x_{۱۰}$	۰/۰۸	$x_{۲۰}$	۱/۵	$x_{۳۰}$	۰	$x_{۴۰}$	۰	$x_{۵۰}$	۳/۱۷

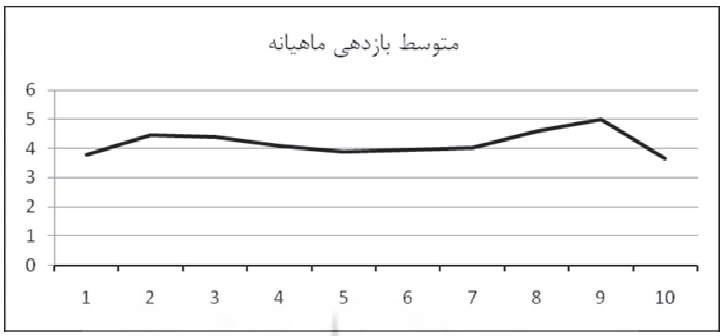
۸. اعتبارسنجی نتایج

الگوریتم‌های ژنتیک به علت ماهیت تکاملی‌شان، جواب‌ها را بدون توجه به طرز کار ویژه مسئله جستجو می‌کنند. پس یکی از مهم‌ترین آزمون‌هایی که باید صورت پذیرد، بررسی میزان ثبات الگوریتم است. این که با هر بار اجرای الگوریتم، جواب تقریباً یکسانی را به‌دست می‌آوریم و اینکه این جواب منحصر بفرد است یا نه، نکته مهمی است که باید مورد آزمون قرار گیرد. به این منظور الگوریتم ژنتیک طراحی شده چندین بار برای مدل بهینه‌سازی پرتفولیو با اهداف غیرخطی اجرا شد که نتایج تکرار الگوریتم در جدول ۴ و نمودار ۱ قابل مشاهده است.

جدول ٤. بررسی ثبات نتایج حاصل از الگوریتم ژنتیک در ۱۰ بار اجرای الگوریتم

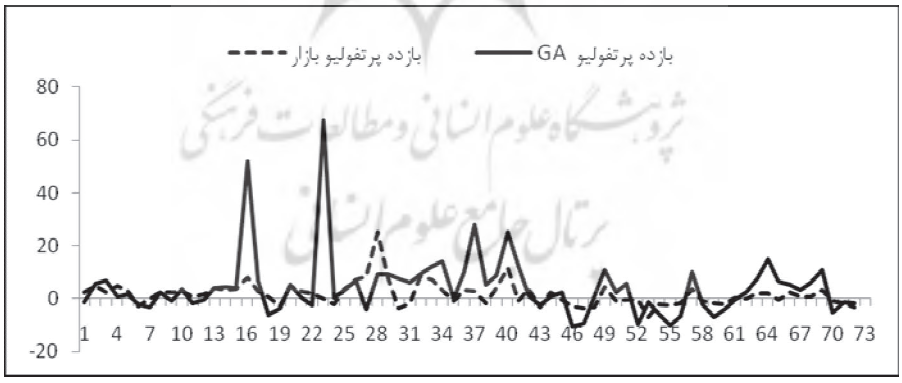
اجرای الگوریتم	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸	۹	۱۰
متوسط بازدهی ماهیانه	۳/۷۹	۴/۴۵	۴/۴	۴/۰۹	۳/۸۹	۳/۹۵	۴/۰۲	۴/۵۸	۴/۹۸	۳/۶۴

نتایج، گویای تفاوت ناچیزی میان جواب‌های حاصل از تکرارهای مختلف است. واریانس ۰/۱۵ برای متوسط بازدهی ماهیانه پرتفولیوهای حاصل از ۱۰ تکرار الگوریتم ژنتیک طراحی شده، نشان‌دهنده ثبات بالای الگوریتم در اجراهای مختلف است.



نمودار ۱. بررسی ثبات نتایج حاصل از الگوریتم ژنتیک در ۱۰ بار اجرا

افزون بر بررسی پایایی جواب‌های حاصل از الگوریتم، مقایسه متوسط بازدهی ماهیانه حاصل از الگوریتم ژنتیک و متوسط بازده بازار نیز بیانگر اعتبار این روش است (نمودار ۲). در بیشتر مواقع، بازده حاصل از الگوریتم ژنتیک بیشتر از بازده پرتفولیو بازار است که بیانگر سازگاری روش ابتکاری پژوهش با مسئله انتخاب پرتفولیو است.

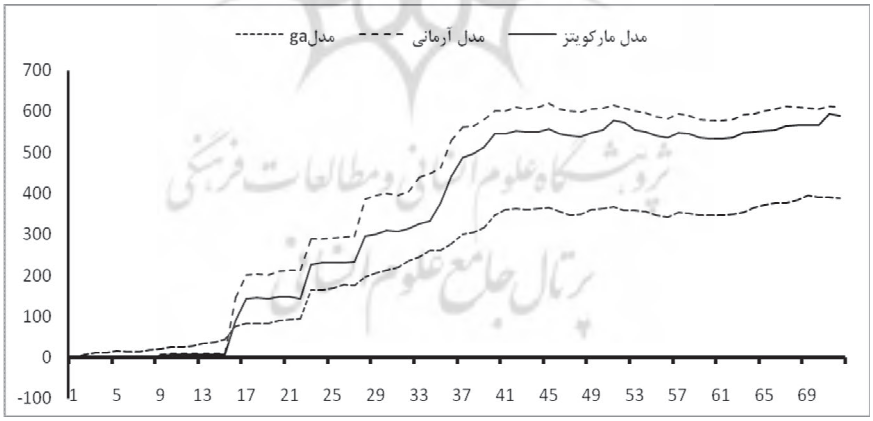


نمودار ۲. مقایسه بازده ماهانه پرتفولیو بازار و پرتفولیوی تشکیل‌شده با GA

۹. نتیجه‌گیری و پیشنهادات

در این بخش برای اندازه‌گیری عملکرد پرتفولیوی انتخاب‌شده با الگوریتم ژنتیک، بازده پرتفولیوهای انتخاب شده با الگوریتم ژنتیک، مدل مارکویتز و مدل آرمانی با هم مقایسه می‌شود. از بازده پرتفولیو در طول فاصله زمانی ۷۲ ماهه منتهی به اسفند ۸۶ برای مقایسه پرتفولیوها استفاده می‌کنیم. نمودار ۳ بازده تجمعی پرتفولیوهای مختلف در بازه مورد بررسی را به صورت مقایسه‌ای نشان می‌دهد.

نمودار ۳ بیانگر این است که مدل‌های آرمانی و مارکویتز پرتفولیو با بازده بهتری نسبت به مدل چندهدفه که با استفاده از الگوریتم ژنتیک حل شده است، حاصل می‌شود. با توجه به اینکه سرمایه‌گذار با ریسک روبرو است، فقط اطمینان کردن بر بازده در ارزیابی عملکرد، معیار مناسبی نیست؛ اگر چه همه سرمایه‌گذاران بازده بالاتری را ترجیح می‌دهند، اما آنها ریسک‌گریز نیز هستند. پس برای ارزیابی مناسب عملکرد پرتفولیو باید معین کنیم که آیا بازده‌ها به فراخور ریسک بالا هستند؟ بنابراین برای ارزیابی عملکرد پرتفولیوها به صورت نسبی از روش‌های ارزیابی تعدیل‌شده بر مبنای ریسک استفاده می‌کنیم. همچنین برای ارزیابی متنوع بودن پرتفولیوها از ضریب تعیین و تعداد سهام انتخاب شده، استفاده می‌کنیم. در جدول ۵ شاخص‌های ارزیابی عملکرد پرتفولیوها نشان داده شده است.



نمودار ۳. نمودار بازده پرتفولیو برای الگوریتم ژنتیک، مدل مارکویتز و مدل آرمانی

جدول ۵. مقایسه مدل‌های مختلف انتخاب پرتفولیو

معیار	مدل مارکویتز	مدل چندهدفه (آرمانی)	مدل چندهدفه (الگوریتم ژنتیک)
متوسط بازده پرتفولیو	۸/۱۸	۸/۴۷	۵/۳۸
ریسک غیرسیستماتیک	۳۹۹/۲۴	۵۶۳/۳۱	۱۲۳/۰۱
معیار ترینر	۳/۶	۲/۵۶	۳/۸۱
معیار شارپ	۰/۳۴	۰/۳	۰/۳۷
ضریب تعیین	۰/۱۸	۰/۲۸	۰/۱۹
تعداد سهام پرتفولیو	۹	۱۲	۳۷
تعداد دوره با بازدهی پرتفولیو منفی	۲۶	۲۷	۲۰

جدول ۵ نشان می‌دهد که هیچ‌کدام از مدل‌ها در کلیه شاخص‌ها بر مدل‌های دیگر ارجحیت ندارد اما مدل چندهدفه که با الگوریتم ژنتیک حل شده پرتفولیوی پرگونه‌تری با ریسک غیرسیستماتیک کمتری ارائه می‌کند.

با وجود اینکه مدل حل شده با الگوریتم ژنتیک بازده کمتری نسبت به مدل‌های دیگر به‌دست می‌آورد اما با توجه به معیارهای شارپ و ترینر می‌توان فهمید که این کاهش بازدهی با کاهش ریسک جبران شده است. معیارهای تعدیل‌شده بر مبنای ریسک نیز بهتربودن پرتفولیو به‌دست آمده با الگوریتم ژنتیک را تأیید می‌کنند.

با توجه به اینکه مدل الگوریتم ژنتیک ارائه شده غیرخطی است و می‌توان آن را به‌راحتی برای تعداد زیادی متغیر به‌کار گرفت و با اضافه شدن یک متغیر (شرکت) جدید به راحتی می‌توان مدل را به روز کرد، مدل مناسب‌تری برای انتخاب پرتفولیو سهام است.

الگوریتم ژنتیک به مشتق‌گیری و یا اطلاعات کمکی نیاز ندارد و تنها تابع هدف و شیوه تعیین برازش از اطلاعات خام برای جستجو را مشخص می‌کند. همچنین توانایی فوق‌العاده الگوریتم ژنتیک در به‌دست آوردن نقاط بهینه، این اطمینان خاطر را در سرمایه‌گذار ایجاد می‌کند که نقطه بهینه به‌دست آمده، نقطه بهینه اصلی است و مسئله در نقاط بهینه محلی گرفتار نشده است. بنابراین کاربرد این الگوریتم در انتخاب و بهینه‌سازی سبد سهام تأیید و توصیه می‌شود. همچنین برتری مستمر این الگوریتم نسبت به پورتفولیوی بازار و برتری نسبی آن نسبت به مدل‌های دیگر تأییدی

بر ادعای سازگاری آن با مسئله است. پس تهیه یک بسته نرم‌افزاری براساس مدل ارائه شده در این تحقیق می‌تواند موجب بهره‌مندی سرمایه‌گذاران در بورس، از مزایای این روش گردد.

در این تحقیق اهداف مدل به صورت قطعی در نظر گرفته شد، اما می‌توان در تحقیقات مشابه با استفاده از مدل‌های چندهدفه فازی اقدام به انتخاب پرتفولیو کرد. با اجرای این روش می‌توان شرایط واقعی مسئله را هرچه بیشتر در این مدل گنجاند و پاسخ‌های واقعی‌تر به‌دست آورد. با توجه به اینکه بازده سهام ماهیت احتمالی دارد پیشنهاد می‌شود که در تحقیقات آتی با استفاده از مدل‌های چندهدفی احتمالی پرتفولیو سهام انتخاب گردد.

منابع

الف- فارسی

تلنگی، احمد (۱۳۷۷)، طراحی مدل ریاضی برای انتخاب پرتفوی بهینه با استفاده از منطق برنامه‌ریزی فازی، پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشکده مدیریت دانشگاه تهران.

شاه‌علیزاده، محمد (۱۳۸۰)، *مدیریت سبد سهام*، انتشارات مرکز آموزش و تحقیقات صنعتی ایران، تهران، ۱۶۸ صفحه، ترجمه کتاب *Investments: Analysis and Management*، تألیف Charles P. Jones.

تهرانی، رضا و عسگر نوربخش (۱۳۸۳)، *مدیریت سرمایه‌گذاری*، نگاه دانش، تهران، ۴۴۰ صفحه، ترجمه کتاب *Investments: Analysis and Management*، تألیف Charles P. Jones.

خالوزاده، حمید و نسیبه امیری (۱۳۸۵)، «تعیین سبد سهام بهینه در بازار بورس ایران براساس نظریه ارزش در معرض ریسک»، *مجله تحقیقات اقتصادی*، شماره ۷۳، صفحات ۲۳۱-۲۱۱.

راعی، رضا و احمد تلنگی (۱۳۸۳)، *مدیریت سرمایه‌گذاری پیشرفته*، انتشارات سمت، تهران، ۶۰۰ صفحه.

راعی، رضا (۱۳۷۷)، طراحی مدل مناسب سرمایه‌گذاری در سهام با استفاده از هوش مصنوعی، رساله دکتری، دانشکده مدیریت دانشگاه تهران.

اسلامی بیدگلی، غلامرضا، فرشاد، هیبتی و رهنماء رودپشتی (۱۳۸۴)، *تجزیه و تحلیل سرمایه‌گذاری و مدیریت سبد اوراق بهادار*، پژوهشکده امور اقتصادی، چاپ هفتم، تهران،

ترجمه کتاب *Investment Analysis and Portfolio Management*، تألیف Frank K. Reilly and Keith C. Brown.

شاه‌علیزاده، محمد و عزیزا... معماریانی (۱۳۸۲)، «چارچوب ریاضی گزینش سبد سهام با اهداف چندگانه»، *بررسی‌های حسابداری و حسابرسی*، شماره ۳۲، صفحه ۱۰۲-۸۳.

عبدالعلی‌زاده شهیر، سیمین (۱۳۸۱)، ارائه روشی کارا برای حل مسئله انتخاب مجموعه دارایی بهینه، پایانامه کارشناسی ارشد، دانشگاه صنعتی شریف.

محمدی استخری، نازنین (۱۳۸۵)، انتخاب یک سبد سهام از بین شرکت‌های پذیرفته شده در بورس اوراق بهادار تهران با استفاده از مدل بهینه‌سازی الگوریتم ژنتیک، پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشکده مدیریت دانشگاه تهران.

ب- انگلیسی

Alexander, Gorden J., Sharp, William F. and Jefrey V. Balley (1993), *Fundamentals of Investments*, 2th Ed., prentice-Hall Inc.

Beasley D., Bull, D. R. and R. M. Raulf (1993), "An Overview of Genetic Algorithms: Part1", *Fundamental University Computing,* Vol. 15, No. 2, pp. 58-69.

Ben Abdelaziz, F., Aouni, B. and R. El Fayedh (2007), "Multi-objective Stochastic Programming for Portfolio Selection", *European Journal of Operational Research,* Vol. 177, pp. 1811-1823.

Chang, T. J. *et al* (2000), "Heuristics for Cardinality Constrained Portfolio Optimization", *Computers and Operations Research*, Vol. 27, pp. 1271-1302.

Cohen, Jerome B., Zinbarg, Edward D. and Arthor Zeikel (1987), *Investment Analysis and Portfolio Management,* 5th Ed., prentice-Hall Inc.

Goldberg, D. E. (1989), *Genetic Algorithms in Search, Optimization and Machine Learning*, Addison-Wesley, USA.

Haugen, Robert A. (1994), *Modern Investment Theory*, 4th Ed., prentice-Hall Inc.

Holland, J. H. (1975), *Adaptation in Natural and Artificial Systems: An Introductory Analysis with Applications to Biology, Control and Artificial Intelligence*, University of Michigan Press.

Inuiguchi, M. and J. Ramk (2000), "Possibilistic Linear Programming: A Brief Review of Fuzzy Mathematical Programming and a Comparison with Stochastic Programming in Portfolio Selection Problem", *Fuzzy Sets and Systems,* Vol. 111, pp. 3-28.

Lai, T. (1991), "Portfolio Selection with Skewness: A Multiple-objective Approach", *Review of Quantitative Finance and Accounting,* Vol. 1, pp. 293-305.

Lee, Sang M. and A. J. Lerro (1973), "Optimizing the Portfolio Selection for Mutual Funds", *The Journal of Finance,* Vol. 5, pp. 1087-1099.

Lin, C. C. and T. Y. Liu (2007), "Genetic Algorithms for Portfolio Selection Problems with Minimum Transaction Lots", *European Journal of Operational Research,* O.R. Applications.

Lin, D., Wang, S. and H. Yan (2001), "A Multiobjective Genetic Algorithm for Portfolio Selection Problem", *In Proceedings of ICOTA*, Hong Kong, pp. 15-17.

Loraschi, A., Arnone, S. and A. Tettamanzi (1993), "A Genetic Approach to Portfolio Selection, Neural Network Word", *International Journal on Neural & Mass- Parallel Computing &Information system,* Vol. 36, pp. 597-607.

Markowitz, Harry M. (1959), *Portfolio selection: Efficient Diversification of Investments*, John Wiley & Sons.

Oh, K. J., Kim, T. Y. and S. Min (2005), "Using Genetic Algorithm to Support Portfolio Optimization for Index Fund Management", *Expert Systems with Applications,* Vol. 28, pp. 371–379.

Parra, M. A., Terol, A. B., and M. V. R. Urı´a. (2001), "A Fuzzy Goal Programming Approach to Portfolio Selection", *European Journal of Operational Research*, Vol. 133, pp. 287-297.

Schmitt, L. M. (2001), "Theory of Genetic Algorithms", *Theoretical Computer Science*, Vol. 259, pp. 1-61.

پژوهشگاه علوم انسانی و مطالعات فرهنگی
پرتال جامع علوم انسانی