



پژوهشنامه‌ی مدیریت اجرایی

علمی-پژوهشی

سال ششم، شماره‌ی یازدهم، نیمه‌ی اول ۱۳۹۳

## تصمیم‌گیری برای انتخاب سبد سهام؛ مقایسه‌ی

### الگوریتم‌های ژنتیک و زنبور عسل

حسنعلی سینایی\*

سعید زمانی\*\*

تاریخ پذیرش: ۹۳/۵/۱۳

تاریخ دریافت: ۹۲/۴/۹

#### چکیده

انتخاب روش‌هایی با سرعت و دقت مناسب برای تصمیم‌گیری، همواره جزو چالش‌های مدیران به حساب می‌آمده است. از مهمترین تصمیمات مدیران، تصمیم به سرمایه‌گذاری می‌باشد و از روش‌های مختلف سرمایه‌گذاری، می‌توان به معامله سهام در بازارهای مالی اشاره نمود. مارکویتز با بیان مدل پرتفوی در سال ۱۹۵۲، فصل جدیدی را در تصمیمات سرمایه‌گذاری آغاز کرد، ولی به مرور زمان نواقص این مدل برای محققان آشکار و باعث انجام اصلاحاتی در آن شد. یکی از این نواقص در نظر نگرفتن محدودیتی تحت عنوان حداقل مقادیر معاملاتی است. در این مطالعه، به منظور کمک به تصمیم‌گیری مؤثر در زمینه انتخاب سبد سهام، مدلی بر اساس مدل مارکویتز و با لحاظ کردن محدودیت مذکور، بکار گرفته می‌شود. سپس، مدل استفاده شده، توسط الگوریتم‌های ژنتیک و زنبور عسل حل و نتایج حاصل از الگوریتم‌ها با مرز کارای ایجاد شده توسط مدل مارکویتز مقایسه می‌گردد. نمونه پژوهش از شرکت‌های فعال در بورس اوراق بهادار تهران در طی سال‌های ۱۳۸۳ تا ۱۳۸۷ انتخاب شده‌اند. نتایج پژوهش نشان می‌دهد، برای حل مدل مورد استفاده، الگوریتم زنبور عسل نسبت به الگوریتم ژنتیک کارایی بالاتری دارد.

**واژه‌های کلیدی:** تصمیم‌گیری، انتخاب سبد سهام، الگوریتم ژنتیک، الگوریتم زنبور عسل

\* نویسنده‌ی مسئول - دانشیار مدیریت دانشگاه شهید چمران اهواز (Email: ha\_sinaei@yahoo.com)

\*\* کارشناس ارشد مدیریت بازرگانی، دانشگاه شهید چمران اهواز (Email: saeidzamani62@gmail.com)

## مقدمه

در شرایط دائماً در حال تغییر ما نیز باید تغییر نماییم، در غیر این صورت، بهای سنگینی بابت عدم تغییر پرداخت خواهیم کرد. تصمیم‌گیری<sup>۱</sup> یکی از مهمترین وظایف مدیران است و بیشتر وقت مدیران صرف تصمیم‌گیری درباره‌ی مسائل مختلف می‌گردد. اعتقاد بر این است که جوهره مدیریت اتخاذ یک تصمیم مناسب می‌باشد و معمولاً مدیریت با تصمیم‌گیری مترادف می‌گردد. در یک تعریف مناسب، تصمیم‌گیری یعنی: انتخاب یک راه حل از میان راه‌حل‌های عملی مختلف، برای حل مسایل و استفاده از فرصت‌ها [۱۷].

فرآیند تصمیم‌گیری یکی از پیچیده‌ترین فرآیندهای تفکر انسانی است که عوامل و روش‌های متعددی در آن نقش دارند و هر یک ممکن است نتیجه متفاوتی را به دنبال داشته باشند. اوراسانو و کانولی (۱۹۹۳)، تصمیم‌گیری را به عنوان یکسری از فعالیت‌های شناختی تعریف نموده‌اند که هوشمندانه بوده و از روی آگاهی انجام می‌شوند. نارایان و همکاران (۱۹۹۷)، تصمیم‌گیری را اینگونه معرفی کرده‌اند: تصمیم‌گیری تعاملی است بین مسئله‌ای که به حل شدن احتیاج دارد و شخصی که امید به حل این مسئله دارد، با فضای خاص آن مسئله [۱۱]. مدیران در سازمان‌های گوناگون خصوصاً در سازمان‌هایی که فعالیت اصلی آنها در زمینه امور مالی است، همواره با گزینه‌های مختلفی برای تصمیم‌گیری مواجه هستند و تصمیم‌گیری آنان در زمان مناسب همراه با دقت کافی، عاملی کلیدی برای موفقیت سازمانشان محسوب می‌گردد. تصمیمات مربوط به سرمایه‌گذاری، خصوصاً تشکیل پرتفوی به عنوان یک تصمیم‌گیری حساس و حیاتی برای سازمان‌ها شناخته می‌شود. یکی از معروف‌ترین و پرکاربردترین مدل‌ها برای انتخاب سبد سهام<sup>۲</sup>، مدل مارکوویتز<sup>۳</sup> است که در سال ۱۹۵۲ ارائه گردید. مدل مارکوویتز مدلی بر اساس برنامه‌ریزی درجه دو می‌باشد که بر اساس آن سرمایه‌گذاران می‌توانند برای یک بازه معین، ریسک سهام خود را کاهش داده و سبدي را با کمترین ریسک سهام‌گزینش کنند و یا سطح ریسک مورد علاقه خود را مشخص کرده و بازه انتظاری را بیشینه نمایند. بدین ترتیب مجموعه‌ای از نقاط (سبدهای کارا) ایجاد می‌شوند که اصطلاحاً آن را مرز کارا<sup>۴</sup> می‌نامند [۱۳].

---

<sup>1</sup> Decision Making

<sup>2</sup> Portfolio Selection

<sup>3</sup> Markowitz Model

<sup>4</sup> Efficient Frontier

مدل مارکوویتز به این شکل می‌باشد:

$$MIN \quad \sigma_p^2 = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n w_i w_j \sigma_{ij} ,$$

$$If \quad r_p = \sum_{i=1}^n w_i r_i = r ,$$

$$\sum_{i=1}^n w_i = 1 ,$$

$$w_i \geq 0$$

در این مدل،  $n$  تعداد داراییها،  $r_p$  نرخ بازده مورد انتظار،  $r_i$  بازده مطلوب مورد نیاز، نرخ بازده مورد انتظار دارایی  $i$ ،  $\sigma_{ij}$  کوواریانس میان بازده‌های  $i$  و  $j$ ،  $\sigma_i^2$  واریانس بازده سبد سهام و  $w_i$  وزن بودجه سرمایه‌گذاری شده در دارایی  $i$  می‌باشد. یکی از مشکلات مدل مارکوویتز، در نظر نگرفتن محدودیتی تحت عنوان حداقل مقادیر معاملاتی است. منظور از کمترین مقادیر معاملاتی<sup>۱</sup>، مواردی است که در آنها پاسخ‌های بهینه بر اساس بودجه مورد نظر بدست می‌آید. همچنین بایستی توجه داشت که مسائل انتخاب سبد سهام با حداقل مقادیر معاملاتی، مسئله‌های بهینه‌سازی ترکیبی هستند که منطقه امکان پذیر آنها نیز محدود می‌باشد (پیوسته نیست). از این رو، سرمایه‌گذاران می‌بایست از مدل انتخاب سبد سهامی، که سهام را بر اساس ضرایبی از یک حداقل مقدار معامله مدنظر می‌گیرد، استفاده کنند [۹].

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 [۱۶].

---

<sup>1</sup> Minimum transaction lots

لین و لیو<sup>۱</sup> در سال ۲۰۰۸، مدلی را بر اساس مدل مارکوویتز و به منظور رفع این مشکل ارائه نمودند که به این شکل است:

$$\text{تابع هدف: } \sigma_p^2 = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n w_i w_j \sigma_{ij} \quad \text{MIN}$$

$$\text{if } e_p = \sum_{i=1}^n x_i c_i r_i \geq b_r, \quad -1$$

$$\sum_{i=1}^n x_i c_i \leq b, \quad -2$$

$$w_i = \frac{c_i x_i}{\sum_{i=1}^n c_i x_i}, \quad i=1, \dots, n, \quad -3$$

$$x_i \in Z \quad -4$$

متغیرهای جدید در این مدل به این شرح می‌باشند:  $b$  بودجه،  $e_p$  بازده مورد انتظار سبد سهام،  $c_i$  قیمت هر واحد از دارایی  $i$  و  $x_i$  تعداد هر واحد سرمایه‌گذاری شده در دارایی  $i$ . از آنجا که با مقادیر مختلف بودجه، می‌توان نرخ بازده‌های یکسانی را کسب نمود، در محدودیت اول، به جای نرخ بازده از بازده سبد سهام استفاده شده است و در نتیجه حداکثر استفاده از بودجه اختصاصی صورت می‌پذیرد. محدودیت دوم نیز بیان می‌دارد که مجموع سرمایه‌گذاری کمتر از بودجه می‌باشد. محدودیت سوم نشان دهنده‌ی آن است که مجموع وزن‌ها باید برابر با یک گردد. در حالت کلی این محدودیت باعث غیرخطی شدن مدل نیز می‌شود. مدل مارکوویتز از نوع مسائل تصمیم‌گیری چند هدفه و به‌طور مشخص دو هدفه است که در آن ضوابط تصمیم‌گیری، یعنی کاهش ریسک و افزایش بازده سبد سهام، با یکدیگر متضاد هستند. محققان برای حل مسائل چند هدفه‌ی این چنینی، رویکردهای گوناگونی نظیر برنامه‌ریزی آرمانی و برنامه‌ریزی چندهدفه را ارائه کرده‌اند. به دلیل وقتگیر بودن چنین شیوه‌هایی، اخیراً در تحقیقاتی برای حل مسائل چند هدفه از الگوریتم‌های تکاملی الهام گرفته از طبیعت استفاده شده است، الگوریتم ژنتیک<sup>۲</sup> (GA)، یکی از معروف‌ترین این الگوریتم‌ها می‌باشد که سالهاست برای حل مسائل بهینه‌سازی در حوزه‌های مختلف علمی مورد استفاده قرار می‌گیرد، ولی با توجه به نقاط ضعف آن، همواره معرفی

<sup>1</sup> Lin and Liu

<sup>2</sup> Genetic Algorithm

الگوریتم‌های کارا تر مورد توجه دانشمندان و محققان علمی بوده است. الگوریتم زنبورعسل<sup>۱</sup> (BA)، یکی از الگوریتم‌های نوین بهینه‌سازی مبتنی بر هوش دسته جمعی یا گروه هوشمند است که رفتار جستجوی غذای گروه‌های زنبورهای عسل را شبیه سازی می‌کند [۶]. این الگوریتم پس از معرفی به مجامع علمی، به دلیل دارا بودن قابلیت‌های ویژه‌ای که در ادامه ذکر خواهند شد، برای حل مسائل بهینه سازی مورد استفاده قرار گرفت. از این رو اهمیت این پژوهش علاوه بر بهره‌گیری از مدلی که با استفاده از آن می‌توان محدودیت حداقل مقادیر معامله را رفع کرد، ارائه‌ی شیوه‌ای کارا جهت افزایش سرعت و دقت حل مدل است که می‌توان با به کارگیری آن مدیران و سرمایه‌گذاران را در جهت تصمیم‌گیری مناسب یاری نمود.

### هدف و فرضیه تحقیق

هدف مقاله حاضر استفاده از الگوریتم‌های ژنتیک و زنبور عسل برای حل مسئله انتخاب سبد سهام دارای محدودیت حداقل مقادیر معامله و مقایسه‌ی نتایج حاصل از هر یک، جهت شناسایی الگوریتم با عملکرد بهتر و در نتیجه کمک به تصمیم‌گیری مؤثرتر می‌باشد.

### فرضیه تحقیق:

در این تحقیق و با توجه به هدف آن فرض می‌گردد، الگوریتم زنبور عسل برای حل مسئله انتخاب سبد سهام دارای محدودیت حداقل مقادیر معامله، نسبت به الگوریتم ژنتیک، کارایی بهتری دارد.

### ادبیات پژوهش

پس از ارائه‌ی مدل مارکویتز و مشخص شدن نواقص آن، تغییرات مختلفی توسط محققان حوزه‌ی مالی و مدیریت بر روی آن انجام گرفت و موجب تکامل این مدل گردید. اما تکامل مدل مارکویتز موجب پیچیدگی بسیار و به موازات آن وقت‌گیر شدن حل مدل گشت. از این رو محققان مالی برآن شدند تا جهت سرعت بخشیدن به تصمیم‌گیری‌های حساس و با اهمیتی همچون انتخاب پرتفوی، راهی برای حل سریع مدل‌های این چنینی بیابند.

---

<sup>۱</sup> Bee Algorithm

مانسینی و اسپرانزا در سال ۱۹۹۹ و در پژوهشی تحت عنوان "الگوریتم‌های ابتکاری برای مسئله انتخاب سبدهای سهام دارای محدودیت حداقل مقادیر معامله" نسبت به اصلاح مدل‌های انتخاب سبد سهام بهینه اقدام کردند. هدف آنها اصلاح محدودیت حداقل مقادیر معامله بود و بدین منظور سه نوع معادله ابتکاری پیشنهاد دادند. پژوهش آنها نشان می‌داد که پیچیدگی محاسباتی بسیار زیاد مسئله می‌تواند از دستیابی پاسخ‌های بهینه در مدت زمان معقول جلوگیری کند. آنها در اثبات ضرورت و مطلوبیت الگوریتم‌های ابتکاری، به این نتیجه رسیدند که مسئله انتخاب پورتفو با حداقل مقادیر معاملات، یک مسئله کاملاً غیرخطی می‌باشد. مدل‌های آنها محدودیت حداقل مقادیر معامله را مورد توجه قرار داد، اما برای مشکل وقت‌گیر بودن حل مدل‌ها اقدامی انجام نگردید [۱۰]. ایده اساسی الگوریتم ژنتیک که برای اولین بار توسط جان هالند جهت بهینه‌سازی در مسائل مهندسی مطرح گردیده، انتقال خصوصیات موروثی توسط ژن‌ها است. تکنیک جستجوی آماری در این الگوریتم بر اساس مکانیسم ژنتیک و انتخاب طبیعی است که اساس آن مبتنی بر ژنتیک موجودات زنده می‌باشد.

این الگوریتم اصل حیات داروین را که در خصوص انتخاب مناسب‌ترین‌ها است، با یکسری اطلاعات تصادفی ساخت‌یافته ادغام نموده و یک الگوریتم جستجو ایجاد می‌کند [۲]. در هر الگوریتم ژنتیک باید تعریفی از بهتر و بدتر ارائه کرد. این مفاهیم بر اساس تابعی به نام تابع برازندگی مطرح می‌شوند. تابع برازندگی تابعی است که کاربر قصد بهینه کردن آن را دارد [۳]. الگوریتم ژنتیک، با جمعیت اولیه‌ای که به طور تصادفی ایجاد می‌نماید، شروع به عمل می‌کند. الگوریتم معمولاً افرادی را انتخاب می‌نماید که به عنوان والدین، مقادیر برازندگی بهتری دارند [۱]. این الگوریتم از دو عملگر برای تولید فرزندان با ویژگی‌های متفاوت از والدین بهره می‌گیرد. جهش<sup>۱</sup> یکی از این عملگرها است که به منظور گریز از به دام افتادن در راه‌حل‌های محلی استفاده می‌شود. علاوه بر جهش اتفاق دیگری که به تعداد بسیار بیشتری نسبت به جهش رخ می‌دهد عملگری است که با نام همپوشانی یا تقاطع<sup>۲</sup> شناخته می‌شود و از شباهت کامل فرزند به یکی از والدین جلوگیری می‌نماید [۵]. شوف و فاستر<sup>۳</sup>، نخستین استفاده از الگوریتم ژنتیک برای حل مدل‌های انتخاب سبد سهام

<sup>1</sup> Mutation

<sup>1</sup> Cross over

<sup>2</sup> Shoaf and Foster

بر اساس مدل مارکوویتز را انجام دادند. آنها از این الگوریتم برای مسئله‌ی انتخاب پرتفوی مارکوویتز استفاده کردند و دریافتند که جواب‌های بدست آمده از روش درجه دو دقیق‌تر می‌باشد [۱۵]. دنگ یی، برای رفع محدودیت‌های توابع مورد استفاده‌ی تعیین سبب سهام، نظیر مشکل و زمان بر بودن حل مسائل غیرخطی، رویه‌ها و پارامترهای محاسباتی پیچیده و ناملموس و عدم انعطاف‌پذیری در استفاده از متغیرهای مؤثر، الگوریتم ژنتیک را پیشنهاد داد [۳].

**محدودیت‌های الگوریتم ژنتیک:** الگوریتم ژنتیک با وجود توانایی بالا در حل مسائل، دارای محدودیت‌هایی مانند مشکل بودن تعریف صحیح و آگاهانه‌ی تابع برازش، انتخاب پارامترها (ووز، ۱۹۹۹)، سوق پیدا کردن جواب مسئله به سمت جواب بهینه‌ی غیر واقعی به دلیل فاصله زیاد یک ژن از نظر تناسب با سایر ژن‌ها [۸] و احتمال به دام افتادن الگوریتم در راه حل‌های محلی است. وجود چنین محدودیت‌هایی محققان را بر آن داشته تا همواره به دنبال الگوریتم‌های کاراتری برای حل مسائلی از این دست باشند. اخیراً استفاده از الگوریتم زنبور عسل 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 مانند الگوریتم ژنتیک و الگوریتم پرواز پرندگان و ... مورد ارزیابی قرار گرفته است [۱۲].

**الگوریتم زنبور عسل:** الگوریتم زنبورعسل یکی از الگوریتم‌های بهینه‌سازی مبتنی بر هوش دسته جمعی یا گروه هوشمند است و رفتار جستجوی غذای گروه‌های زنبور عسل را شبیه‌سازی می‌کند [۶].

**نحوه کارکرد الگوریتم زنبور عسل:** الگوریتم زنبور عسل هر نقطه را در فضای پارامتری (متشکل از پاسخ‌های ممکن) به عنوان منبع غذا تحت بررسی قرار می‌دهد. زنبورهای دیده‌بان به صورت گتره‌ای<sup>۱</sup> فضای پاسخ‌ها را ساده می‌کنند. جواب‌های ساده شده رتبه‌بندی می‌شوند و دیگر زنبورها (زنبورهای پیرو) نیروهای تازه‌ای هستند که فضای پاسخ‌ها را در پیرامون خود برای یافتن بالاترین رتبه محل‌ها، جستجو می‌نمایند. این الگوریتم به صورت گزینشی دیگر گلزارها را برای یافتن نقطه‌ی بیشینه‌ی تابع برازندگی بررسی می‌کند [۱۴]. در الگوریتم زنبور عسل تعداد زنبورهای ارسال شده در فضای جستجو با پارامتر  $n$  و تعداد

<sup>3</sup> Random

بهترین‌های انتخاب شده از جمعیت ارسال شده، با پارامتر  $m$  مشخص می‌شود که در واقع تعداد محل‌های انتخابی خارج از مناطق بررسی شده‌ی قبلی است. همچنین تعداد نخبه‌های انتخاب شده از جمعیت  $m$  تایی، با پارامتر  $e$  مشخص می‌گردد که  $e$  باید کوچکتر از  $m$  باشد ( $e < m$ ). هر کدام از اعضای جمعیت نخبه‌ها و دیگر اعضای جمعیت بهترین‌ها به ترتیب با  $N_{ep}$  و  $N_{sp}$  نشان داده می‌شوند.  $N_{ep}$  تعداد زنبورهای بکار گرفته شده برای بهترین مکان‌ها ( $e$ ) و  $N_{sp}$  تعداد زنبورهای بکار گرفته شده برای دیگر محل‌های انتخاب شده ( $m-e$ ) محل باقیمانده) را تعیین می‌کند.  $N_{gh}$  نیز از دیگر پارامترهای قابل تعیین است که اندازه شعاع همسایگی<sup>۱</sup> را مشخص می‌نماید و شامل اندازه منطقه جستجو، قسمت‌های مجاور آن و معیار توقف می‌باشد [۱۴].

**مراحل الگوریتم زنبور عسل:** فم و همکاران (۲۰۰۶)، مراحل الگوریتم زنبور عسل را بدین ترتیب معرفی نمودند:

مرحله	شرح
۱	انتخاب جمعیت اولیه با راه حل‌های تصادفی
۲	ارزیابی سازگاری جمعیت با تابع برازش
۳	شکل‌گیری جمعیت جدید
۴	انتخاب مکان‌ها برای جستجوی قسمت‌های مجاور (همسایگی)
۵	بکار گرفتن زنبورها برای محل‌های انتخاب شده و ارزیابی آن محل‌ها
۶	انتخاب مناسب‌ترین زنبورها (زنبورهای نخبه یا شایسته) از هر منطقه
۷	تعیین زنبورهای باقی‌مانده برای جستجوی تصادفی و ارزیابی سازگاری آن‌ها
۸	پایان

در مرحله ۴، زنبورهایی که بیشترین صلاحیت را دارند، به عنوان "زنبورهای انتخابی" شناخته می‌شوند و مکان‌هایی که توسط آن‌ها بررسی شده‌اند، برای جستجوی همسایگی انتخاب می‌گردند. سپس در مراحل ۵ و ۶، الگوریتم جستجوهای دیگری را در مناطق مجاور مکان‌های انتخابی انجام می‌دهد. بیشتر زنبورها برای جستجو در نزدیکی بهترین مکان‌ها اختصاص داده می‌شوند. زنبورها می‌توانند به طور مستقیم و مطابق با صلاحیت مناطقی که بررسی کرده‌اند انتخاب شوند. جستجو در مناطق همسایگی

<sup>۱</sup> Radius of Neighborhood



بهترین مکانهای e، راه‌حل‌های بهتری را ارائه می‌دهد. این گشت‌زنی و نفرگیری تفاضلی، عملیات کلیدی الگوریتم زنبور عسل می‌باشد. اگرچه در مرحله ۶، برای هر منطقه فقط زنبورهایی با بیشترین صلاحیت به شکل جمعیت‌بندی زنبوران عسل انتخاب خواهند شد، در طبیعت چنین محدودیتی وجود ندارد و دلیل در نظر گرفتن این محدودیت، کاهش تعداد نقاط جستجو می‌باشد. در مرحله ۷، زنبورهای باقی‌مانده در جمعیت به طور تصادفی در اطراف فضای جستجو برای راه‌حل‌های بالقوه تخصیص می‌یابند. این مراحل تا زمانی که معیار توقف ایجاد شود ادامه خواهند یافت [۱۴].

ماریناکی و همکاران در تحقیقی تحت عنوان "الگوریتم بهینه‌سازی زنبور عسل برای طبقه‌بندی مشکلات مالی"، از الگوریتم زنبور عسل برای انتخاب ویژگی‌های متغیرهای مناسب مالی بهره گرفته و سپس آن را جهت طبقه‌بندی مشکلات مالی مورد استفاده قرار داده‌اند. این پژوهشگران نتایج الگوریتم زنبور عسل را با نتایج بدست آمده از الگوریتم حرکت تجمعی ذرات<sup>۱</sup> و الگوریتم کلنی مورچگان<sup>۲</sup> مقایسه کرده‌اند، نتیجه این مقایسه نشان دهنده عملکرد بسیار بالای الگوریتم زنبور عسل است [۱۲]. واسیلیادیس و دونیاس، در مقاله‌ای با عنوان "هوش الهام گرفته از طبیعت برای مسئله‌ی بهینه‌سازی سبد سهام محدود شده"، به منظور بهینه‌سازی سبدهای سهام دارای محدودیت، از الگوریتم‌های کلنی زنبور عسل استفاده نمودند [۱۸].

#### بررسی مقایسه‌ای الگوریتم زنبور عسل و الگوریتم ژنتیک:

در زمینه‌ی بررسی مقایسه‌ای الگوریتم زنبور عسل و الگوریتم ژنتیک، در حوزه مدیریت، مطالعه‌ای یافت نشد. اما تحقیقاتی در حوزه‌ی علوم مهندسی و ریاضیات صورت گرفته است که در ادامه به برخی از آنها اشاره می‌شود: یانگ<sup>۳</sup>، در مقاله‌ای با عنوان "مهندسی بهینه‌سازی با استفاده از الگوریتم‌های مصنوعی زنبور عسل الهام گرفته از طبیعت"، یک الگوریتم مصنوعی زنبور عسل که بر مسائل توابع بهینه‌سازی موثر است را معرفی کرد. نتایج این تحقیق، حاکی از کارآمدتر بودن الگوریتم جدید نسبت به الگوریتم ژنتیک است [۱۹]. کاربوغا و باستورک<sup>۴</sup>، مقاله‌ای را با عنوان

<sup>۱</sup> PSO Algorithm

<sup>۲</sup> Ant Colony Algorithm

<sup>۳</sup> Yang

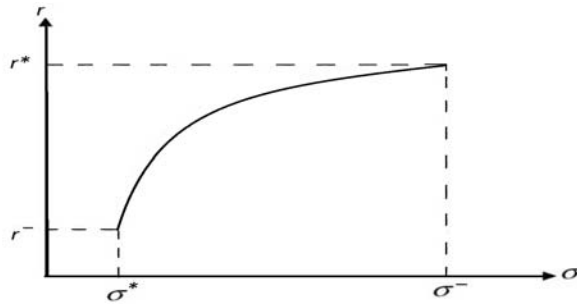
<sup>۴</sup> Karaboga & Basturk

"الگوریتم قوی و کارا برای بهینه سازی توابع عددی: الگوریتم کلونی زنبور عسل"، ارائه کردند. در این تحقیق، الگوریتم کلونی زنبور عسل به منظور بهینه سازی توابع چند متغیره استفاده شده و نتایج آن با الگوریتم ژنتیک و الگوریتم بهینه سازی تجمعی ذرات، مورد مقایسه قرار گرفته است. نتایج نشان داد که الگوریتم کلونی زنبور عسل بر دیگر الگوریتم ها برتری دارد [۶]. کارابوگا و آکای<sup>۱</sup>، در پژوهشی با نام "مطالعه ی مقایسه ای الگوریتم کلونی زنبور عسل مصنوعی"، از الگوریتم زنبور عسل برای بهینه سازی تعداد زیادی تابع عددی استفاده کرده اند و نتایج بدست آمده از این الگوریتم را با نتایج الگوریتم های تکاملی تفاضلی، استراتژی های تکاملی، الگوریتم ژنتیک و الگوریتم پرواز پرندگان مورد مقایسه قرار داده اند [۷]. نتایج پژوهش آنان حاکی از آن است که عملکرد الگوریتم زنبور عسل در اکثر موارد بهتر و گاهی اوقات مشابه دیگر الگوریتم ها می باشد.

### روش پژوهش

تحقیق حاضر در زمره ی تحقیقات کاربردی قرار می گیرد. در این پژوهش از بازده های دو ماهه شرکت های پذیرفته شده در بورس اوراق بهادار تهران طی سال های ۱۳۸۳ تا ۱۳۸۷ استفاده می گردد. به این ترتیب برای هر سال ۶ نرخ بازده ثبت شده و میانگین این ۶ عدد، میانگین نرخ بازده سهم در آن سال می باشد. ریسک هر سهم نیز بر اساس بازده های دو ماهه محاسبه می شود، واریانس ۶ نرخ بازده دو ماهه ی هر سهم تعیین کننده ریسک آن سهم می باشد. برای سنجش کوواریانس میان دارایی های هر سال از بازده های دو ماهه ی دارایی ها در بازار سهام و میانگین بازده سالانه ی آنها استفاده شده است. از دیگر متغیرهایی که برای بدست آوردن بازده مطلوب هر سبد باید مورد محاسبه قرار گیرند،  $r^*$ ،  $\sigma^*$ ،  $r^-$  و  $\sigma^-$  هستند که به ترتیب نشان دهنده حداکثر (مطلوبترین) نرخ بازدهی قابل دسترسی برای هر سال، حداقل (مطلوبترین) ریسک قابل دسترسی برای هر سال، نرخ بازده مرتبط با کمترین ریسک قابل دستیابی ( $\sigma^*$ ) و ریسک مرتبط با بیشترین بازده قابل دستیابی ( $r^*$ ) هستند و در نمودار ۱ قابل مشاهده می باشند:

<sup>2</sup> Akay



نمودار ۱- مرز کارای سبد سهام

این متغیرها با استفاده از مدل اولیه مارکوویتز برای داده‌های هر سال محاسبه می‌گردند. در ارتباط با محاسبه مرز کارا تحقیقات بسیاری انجام گرفته است که از آن جمله می‌توان به شیرف<sup>۱</sup> (۲۰۰۲)، کلرر و مارینگر<sup>۲</sup> (۲۰۰۳)، مارینگر (۲۰۰۵)، دی گاسپرو و همکاران<sup>۳</sup> (۲۰۰۷)، چيام<sup>۴</sup> (۲۰۰۸) و سلیمانی و همکاران (۲۰۰۹)، با در نظر گرفتن محدودیت تعداد سهام؛ چيام و همکاران (۲۰۰۸)، با در نظر گرفتن محدودیت سقف و کف برای هر دارایی و یو و همکاران (۲۰۰۸)، رولاند (۱۹۹۷) و کاراما و سکینز (۲۰۰۳)، با در نظر گرفتن محدودیت فروش استقرای اشاره نمود [۴]. به منظور سنجش و مقایسه‌ی کارایی الگوریتم‌های مورد نظر، بازده سبد سهام هدف که در طول نمودار مرز کارا پراکنده شده‌اند، انتخاب می‌شوند و ریسک و بازده آنها به عنوان ریسک و بازده مدل مورد استفاده قرار می‌گیرد.  $r$  یا نرخ بازده مطلوب هر سبد برای قرار گرفتن در مدل تحقیق نیز از طریق عبارت زیر محاسبه می‌گردد.

$$r = \alpha r^- + (1 - \alpha) r^*$$

سپس مدل از طریق الگوریتم‌های ژنتیک و زنبور عسل حل می‌شود. در ادامه، فاصله‌ی هر یک از سبدهای بهینه‌ی ایجاد شده توسط الگوریتم‌ها، از نقطه متناظر هر کدام بر روی نمودار مرز کارا اندازه‌گیری می‌شود. برای  $\alpha$  از صفر تا یک و به فاصله یکدهم (۰.۱) مقدار داده می‌شود که در مجموع یازده نقطه بدست می‌آید و برای یافتن  $\sigma$  بهینه در مدل، از مقادیر بازده محاسبه شده‌ی فرمول بالا استفاده می‌شود.

<sup>1</sup> Schaerf  
<sup>2</sup> Kellerer & Maringer  
<sup>3</sup> Di Gaspero et al.  
<sup>4</sup> Chiam

**پارامترهای الگوریتم ژنتیک:**  $b$  یا همان مقدار بودجه ۱۰۰۰۰۰ فرض گردیده است. برای حل مدل از طریق الگوریتم ژنتیک متغیرهای دیگری نیز به این شرح باید تعیین شوند: برای هر فرد از جمعیت باید همه متغیرها نظیر دارایی‌ها مقدار بگیرند. این مقادیر برای هر سال متفاوت می‌باشد. بعلاوه برای جهش و تقاطع مقادیر ۰.۵ و ۰.۰۵ لحاظ گردید و برای عملگر تقاطع از روش تک نقطه‌ای استفاده شد. روش مورد استفاده برای انتخاب نیز در این پژوهش روش چرخ رولت می‌باشد و مقدار تکرار ۱۰۰۰ در نظر گرفته شده است.

**پارامترهای الگوریتم زنبور عسل:**  $N$  یا جمعیت اولیه در هر سال برابر با تعداد دارایی‌های آن سال و مقدار  $M$  یا همان جمعیت برتر در هر سال ۰.۱ مقدار  $N$  آن سال و مقدار  $e$  یا برترین‌های جمعیت برتر ۰.۴  $M$  انتخاب گردید. از دیگر پارامترهایی که تعیین آن برای الگوریتم زنبور عسل اهمیت بسیاری دارد، شعاع همسایگی یا  $N_{gh}$  است که مقدار آن در این پژوهش برای هر سال ثابت و برابر با ۰.۰۱ بازه مورد نظر در آن سال تعریف شد.

**جامعه آماری و روش نمونه‌گیری:** روش خاصی برای گردآوری نمونه‌ها بکار نرفته و انتخاب آن‌ها با استفاده از روش حذفی سیستماتیک انجام شده است. لذا از میان مجموع سهام موجود در بورس اوراق بهادار تهران در هر سال (اعضای جامعه)، تعدادی که دارای ویژگی‌های مورد نظر محقق بوده‌اند، به عنوان نمونه‌ی پژوهش در آن سال انتخاب شده و داده‌های مربوط به آن‌ها برای انجام پژوهش مورد استفاده قرار گرفته است و دیگر اعضای جامعه که ویژگی‌های مورد نظر را نداشته‌اند خود به خود در بین اعضای نمونه قرار نگرفته و حذف شده‌اند. ویژگی‌های مورد نظر به این قراراند: (۱) داده‌های مربوط به سهام شرکت‌هایی که سال مالی آنها به ۲۹ اسفند ماه ختم شود. (۲) داده‌های مربوط به سهام شرکت‌هایی که از نظر خرید و فروش سهامشان در طول سال مالی در بورس اوراق بهادار فعال بوده‌اند. به عبارتی فاقد وقفه‌های معاملاتی طولانی مدت باشند.

**ابزار تجزیه و تحلیل:** برای محاسبه داده‌های ورودی مدل از برنامه EXCEL 2010 استفاده شده است. یکی دیگر از برنامه‌های بکار گرفته شده، نرم‌افزار LINGO است. از این برنامه برای پیدا کردن نمودار مرز کارا برای هر سال و داده‌های  $r^*$ ،  $\sigma^*$ ،  $r^-$  و  $\sigma^-$

استفاده می‌شود. برای حل مدل از طریق الگوریتم ژنتیک و زنبورعسل از برنامه MATLAB 2010 استفاده شده است. MATLAB نرم‌افزاری فوق‌العاده قدرتمند است که می‌توان در محیط آن با استفاده از برنامه نویسی، به حل مسائل و مدل‌های گوناگون پرداخت. از کاربردهای مهم این برنامه می‌توان به استفاده از آن برای حل مسائل بهینه‌سازی اشاره کرد. برای مقایسه‌ی نتایج حاصل از الگوریتم‌ها، باید فاصله هر سبد سهام ایجاد شده توسط آنها، از نقطه‌ی متناسب با آن در نمودار مرز کارا حساب گردد که این فاصله با استفاده از معادلات ریاضی و به شرح ذیل محاسبه می‌شود:

$$D = \sqrt{\left( (r_p - r)^2 + (\sigma_p - \sigma)^2 \right)}$$

**کدنویسی:** در اولین قدم باید  $X_i$  را کدنویسی کرد که برای ساده‌شدن عملیات مقدار  $W_i$  به جای  $X_i$  کد می‌شود و سپس به  $X_i$  تبدیل می‌گردد. لازم به ذکر است که به دلیل عدم امکان فروش استقرازی<sup>۱</sup> در بازار بورس و اوراق بهادار ایران، هیچ سهمی در پورتفویهای بهینه دارای وزن منفی نمی‌باشند. به عبارتی ژن‌های کروموزوم، که بیانگر وزن سرمایه‌گذاری شده در دارایی‌ها می‌باشند، اعدادی حقیقی بین ۰ و ۱ هستند. اما چون امکان دارد جمع این مقادیر ۱ نشود، وزن‌ها با استفاده از این فرمول استاندارد می‌شوند:

$$w'_i = \frac{w_i}{\sum_{i=1}^n w_i}$$

با انجام این امر چنانچه مقداری از بودجه مورد استفاده قرار نگرفته باشد، از جمع بودجه‌ی مورد استفاده در تشکیل سبد سهام حذف می‌گردد و وزن هر سهم دقیق‌تر محاسبه می‌گردد. لذا  $w'_i$  وزن جدید سرمایه‌گذاری شده در دارایی  $i$  پس از نرمال کردن است. اما این مقدار هنوز قابل استفاده نیست، چرا که مقدار واقعی سرمایه‌گذاری شده از ضرب  $w'_i$  در  $b$  حاصل می‌شود که با تغییرات جدید به این شکل محاسبه خواهد شد:

$$x_i = \left| \frac{bw'_i}{c_i} \right|, \quad i=1,2,\dots,n$$

<sup>۱</sup> Short Sell

در این رابطه مقادیر محاسبه شده همواره کمتر از بودجه ی اختصاصی خواهد بود، از این رو محدودیت دوم مدل تضمین خواهد شد. محدودیت سوم بدین لحاظ مورد استفاده قرار می گیرد که وزن های حقیقی را قبل از محاسبه واریانس بازده سبد سهام محاسبه کند. مقدار  $W_i$  کروموزوم ها در جمعیت اولیه قبل از اینکه با استفاده از معادله ی مربوطه استاندارد گردد، به صورت تصادفی انتخاب می شود. با تغییرات اشاره شده در بالا و انتخاب جمعیت اولیه با بودجه ی مجاز، این محدودیت نیز تضمین می گردد. یکی دیگر از معادلاتی که باید کدنویسی گردد، محدودیت اول مدل می باشد. این محدودیت با استفاده از استراتژی پنالیتی و به صورتی که در ادامه خواهد آمد، محقق می گردد.

**توابع هدف مناسب:** با استفاده از کدنویسی تمام محدودیت های مدل آماده می گردند. تابع پنالیتی مورد استفاده برای مدل، باعث می شود که بازده واقعی حاصل شده از بازده مورد انتظار بیشتر گردد و به این شرح می باشد [۹]:

$$p(x) = \begin{cases} br - \sum_{i=1}^n x_i c_i r_i & \text{if } br > \sum_{i=1}^n x_i c_i r_i \\ 0 & \text{otherwise} \end{cases}$$

با ترکیب تابع هدف مارکوویتز و تابع پنالیتی، تابع هدف مدل به شکل زیر در می آید:

$$fitness = \exp(-k(\sigma_p^2 + mp(x)))$$

عبارت  $K$  مقداری ثابت و مثبت بوده و  $M$  عددی بزرگ است. مقادیر کوچک  $K$  مانع از پراکندگی زیاد پاسخ ها توسط الگوریتم می شود، ضمن اینکه بزرگ بودن  $M$  نیز باعث می گردد قبل از کاهش ریسک سبد سهام، محدودیت اول مدل تأمین گردد. پس از محاسبه نرخ های بازده هر سهم با استفاده از نرم افزار EXCEL، میانگین و واریانس داده ها مورد محاسبه قرار گرفت. یکی از متغیرهای مهم دیگر که در هر سه مدل نقش اساسی داشته و اساس محاسبه تابع هدف است، مقدار کوواریانس میان سهم ها می باشد که مقادیر این متغیر نیز با استفاده از نرم افزار EXCEL محاسبه شده اند. مرز کارا برای هر سال مالی بیانگر خطی است که هیچ سبد سهمی در سمت چپ و بالای این خط قرار نمی گیرد. این خط جزء مهمترین متغیرها می باشد و برای داده های هر سال با استفاده از مدل مارکوویتز و نرم افزار LINGO محاسبه شده که در جدول (۱) آمده است. در این جدول علاوه بر متغیرهای بالا تعداد دارایی هایی که سبدهای سهام بهینه از میان آنها انتخاب شده اند نیز ذکر گردیده است.

جدول شماره ی یک -ویژگی های نمودار مرز کارا					
سال	تعدادداری ها	$r^*$	$r^-$	$\sigma^*$	$\sigma^-$
۱۳۸۳	۱۱۳	۰.۳۸۰۵۳۴	۰.۰۱۳۱۳۱	۰.۰۰۰۷۸۲	۰.۵۷۶۷۲۲
۱۳۸۴	۱۲۴	۰.۴۴۹۳۹۴	۰.۰۷۳۷۱۹	۰.۰۱۵۴۳۶	۰.۷۵۳۶۲۲
۱۳۸۵	۴۴	۰.۱۴۲۳۷۸	۰.۰۱۹۷۷۹	۰.۰۰۰۹۳۰	۰.۱۴۷۴۵۴
۱۳۸۶	۱۰۷	۰.۲۶۲۳۹۶	۰.۰۱۶۸۰۸	۰.۰۰۰۳۴۹	۰.۲۵۵۶۲۰
۱۳۸۷	۸۷	۰.۲۴۶۴۱۷	۰.۰۲۷۲۰۷	۰.۰۰۰۶۴۲	۰.۲۳۲۰۳۷

برای هر سال ۱۱ نقطه به عنوان نقاطی که بیانگر میزان ریسک پذیری سرمایه‌گذاران نیز می‌باشند، تعیین شده‌اند. اولین و یازدهمین نقطه برای داده‌های هر سال، بیانگر مختصات  $(\sigma^-$  و  $r^*)$  و  $(\sigma^*$  و  $r^-)$  هستند. دیگر نقاط، نقاطی در بین این دو نقطه هستند. میزان واریانس متناظر با این ۱۱ نقطه نیز با استفاده از نرم افزار LINGO محاسبه شده است.

### یافته‌های پژوهش

پس از طی مراحل بالا و فراهم نمودن متغیرهای مستقل با استفاده از داده‌های دریافتی از بانک اطلاعاتی بورس اوراق بهادار تهران برای سال‌های ۱۳۸۳ تا ۱۳۸۷، مدل مورد نظر از طریق الگوریتم‌های ژنتیک و زنبور عسل حل گردید. در واقع برای پاسخگویی به سؤال پژوهش، بایستی این مدل بر روی نمونه‌هایی آزمایش و سپس نتایج حاصل از دو الگوریتم با هم مقایسه می‌شد. البته داده‌های ضروری دیگری نیز هستند که برای حل مدل از طریق الگوریتم‌ها باید مشخص می‌گردیدند. برای داده‌های هر سال، تعداد جمعیت برای دو الگوریتم و طول کروموزوم‌ها برای الگوریتم ژنتیک، برابر با تعداد داریی‌ها لحاظ شد. دو متغیر مهم  $M$  و  $K$  نیز برای تعریف توابع هدف مناسب مدل افزوده شدند که به ترتیب مقادیر  $0/0005$  و  $100$  را پذیرفتند. در جدول (۲)، میانگین نتایج برای یازده نقطه‌ی انتخاب شده روی نمودار مرز کارا آمده است. در ستون  $d$  جدول میزان فاصله‌ی نتایج، از مقادیر بهینه‌ی نمودار مرز کارا ذکر گردیده است. همچنین میانگین این مقادیر نیز در آخر همان ستون محاسبه و ذکر شده است.

۹۸..... پژوهشنامه ی مدیریت اجرایی، سال ششم، شماره ی یازدهم ، نیمه ی اول ۱۳۹۳

جدول ۳- مقایسه میان الگوریتم ها

سال	الگوریتم ژنتیک			الگوریتم ژنور عمل		
	$d$	$\sigma_p$	$r_p$	$d$	$\sigma_p$	$r_p$
۱۳۸۳	0.000000	0.000800	0.011400	0.004000	0.000800	0.007400
	0.000000	0.050700	0.053200	0.006000	0.055700	0.049900
	0.000000	0.100600	0.081900	0.009400	0.109400	0.078800
	0.010600	0.150400	0.136100	0.010200	0.160600	0.125900
	0.000100	0.200300	0.157400	0.014100	0.211500	0.148800
	0.000000	0.250200	0.195700	0.013500	0.257400	0.184300
	0.000000	0.300100	0.234700	0.019600	0.310500	0.251300
	0.013200	0.345000	0.293000	0.009500	0.354700	0.272500
	0.000000	0.425600	0.312100	0.010900	0.435800	0.308400
	0.000100	0.501100	0.345000	0.014400	0.513300	0.337200
	0.000000	0.576700	0.380500	0.000000	0.576700	0.380500
	0.002182			0.010145		
	میانگین					
۱۳۸۴	0.002500	0.015400	0.071200	0.005100	0.015400	0.068600
	0.012400	0.057700	0.124500	0.014000	0.063700	0.124200
	0.020900	0.100000	0.191200	0.021900	0.111500	0.181400
	0.012200	0.181700	0.219000	0.029200	0.197800	0.206800
	0.022500	0.263400	0.239800	0.049200	0.283400	0.217300
	0.023900	0.345100	0.269600	0.048900	0.335100	0.245600
	0.013000	0.416800	0.316400	0.046900	0.416800	0.278900
	0.023500	0.508500	0.332400	0.074000	0.568500	0.312600
	0.039500	0.590200	0.347500	0.059200	0.648700	0.377900
	0.030400	0.661900	0.389500	0.177800	0.511900	0.340700
	0.000000	0.753600	0.449400	0.028300	0.733600	0.429400
	0.018255			0.050409		
	میانگین					
۱۳۸۵	0.001300	0.000900	0.018500	0.002600	0.000900	0.017100
	0.005000	0.016500	0.030500	0.006500	0.016500	0.029000
	0.002600	0.030800	0.049100	0.016300	0.032100	0.035000
	0.003100	0.047700	0.064000	0.009100	0.046300	0.058000
	0.006700	0.063300	0.076100	0.015100	0.066300	0.068000
	0.012100	0.078800	0.086400	0.020500	0.075400	0.078300
	0.000000	0.094400	0.114300	0.004500	0.094400	0.109800
	0.011200	0.110000	0.118800	0.022400	0.110000	0.107600
	0.002800	0.120500	0.131800	0.014000	0.120500	0.119900
	0.007600	0.135000	0.130000	0.012600	0.135000	0.125000
	0.000100	0.147500	0.141400	0.000100	0.147500	0.141400
	0.004773			0.011245		
	میانگین					
1386	0.000500	0.000400	0.016300	0.005800	0.000400	0.011000
	0.006700	0.021300	0.043400	0.017400	0.022300	0.032200
	0.011500	0.048200	0.070600	0.024500	0.051200	0.057700
	0.009900	0.072100	0.104800	0.016700	0.067100	0.098800
	0.000000	0.096100	0.147400	0.022200	0.096100	0.125200
	0.017300	0.120000	0.162700	0.047900	0.116000	0.132300
	0.017500	0.147100	0.179000	0.028400	0.152100	0.168500
	0.000000	0.174200	0.213000	0.034700	0.174200	0.178300
	0.011200	0.201400	0.218200	0.018000	0.201400	0.211400
	0.006000	0.228500	0.239900	0.009500	0.228500	0.236400
	0.000000	0.255600	0.262400	0.000000	0.255600	0.262400
	0.007327			0.020464		
	میانگین					
1387	0.003300	0.000600	0.023900	0.009800	0.000600	0.017400
	0.001300	0.017100	0.066800	0.014300	0.018300	0.053900
	0.018100	0.033600	0.091000	0.027400	0.033600	0.081700
	0.010800	0.052000	0.139400	0.021800	0.050000	0.128200
	0.012900	0.076000	0.150900	0.028600	0.073200	0.135300
	0.003800	0.102000	0.173700	0.019000	0.098000	0.159000
	0.003500	0.128000	0.187800	0.001200	0.128000	0.190100
	0.013000	0.154000	0.192100	0.020300	0.149000	0.185400
	0.010900	0.176000	0.208700	0.031800	0.186000	0.187600
	0.003400	0.206000	0.229200	0.019700	0.216000	0.215600
	0.000000	0.232000	0.246400	0.000000	0.232000	0.246400
	0.007364			0.017627		
	میانگین					

در جدول (۳)، تعداد دارایی‌ها و میانگین فاصله‌ی نقاط حاصل از حل مدل توسط هر یک از الگوریتم‌ها، نسبت به نقاط متناظر در مرز کارای هر سال و در دوره زمانی مورد مطالعه بیان شده است. همانگونه که از مقادیر ذکر شده در این جدول مشخص می‌باشد،



الگوریتم زنبور عسل در تمامی سال‌ها جواب‌های نزدیکتری نسبت به مرز کارا حاصل نموده است.

جدول شماره ی سه - مقایسه نتایج نهایی الگوریتم ها			
سال	تعداد دارایی	الگوریتم ژنتیک (d)	الگوریتم زنبور عسل (d)
۱۳۸۳	۱۱۳	۰.۰۱۰۱۴۵	۰.۰۰۲۱۸۲
۱۳۸۴	۱۲۴	۰.۰۵۰۴۰۹	۰.۰۱۸۲۵۵
۱۳۸۵	۴۴	۰.۰۱۱۲۴۵	۰.۰۰۴۷۷۳
۱۳۸۶	۱۰۷	۰.۰۲۰۴۶۴	۰.۰۰۷۳۲۷
۱۳۸۷	۸۷	۰.۰۱۷۶۲۷	۰.۰۰۷۳۶۴

### نتیجه‌گیری و پیشنهادها

در پژوهش حاضر و با توجه به نواقص مدل مارکویتز، مدلی جهت رفع مسئله‌ی انتخاب سبد سهام دارای محدودیت حداقل مقادیر معامله معرفی شد. به منظور کاهش زمان حل مسئله و جهت کمک به تصمیم‌گیری مؤثر، بوسیله نرم‌افزار MATLAB از دو الگوریتم بهینه‌سازی ژنتیک و زنبور عسل استفاده گردید و نتایج حاصل از هر الگوریتم با مرز کارای بدست آمده از حل مدل مارکویتز توسط نرم‌افزار LINGO مقایسه شد، تا الگوریتم کارا تر مشخص گردد. همانگونه که در ستون d از جدول ۳ (مقایسه‌ی الگوریتم‌ها) قابل مشاهده است، میانگین فاصله‌ی نتایج حاصل از حل مدل پیشنهادی توسط الگوریتم زنبور عسل، نسبت به نقاط متناظر مرز کارای ایجاد شده توسط حل مدل مارکویتز، در تمامی سال‌ها کمتر از نتایج بدست آمده‌ی حل مدل از طریق الگوریتم ژنتیک می‌باشد. به عبارتی سبدهای سهام تشکیل شده بوسیله الگوریتم زنبور عسل به سبدهای سهام بهینه‌ی واقع بر نمودار مرز کارا که از حل مدل مارکویتز حاصل شده‌اند، نزدیک‌تر هستند. نتایج این پژوهش، با نتایج تحقیقات یانگ (۲۰۰۵)، فم (۲۰۰۶)، کارابوگا و باستورک (۲۰۰۷) و کارابوگا و آکای (۲۰۰۹) که کارایی بهتر الگوریتم زنبور عسل را نسبت به الگوریتم ژنتیک نشان داده‌اند مشابه است. از این رو با در نظر گرفتن محدودیت‌های موجود در تحقیقات مرتبط با بورس اوراق بهادار تهران و با توجه به نتایج این پژوهش، پیشنهاد می‌گردد، برای حل مدل‌های انتخاب سبد سهام، به علت سرعت قابل قبول حل مسائل، از الگوریتم‌های ژنتیک و زنبور عسل استفاده شود

و در صورتی که دقت و سرعت، هر دو برای تصمیم گیرنده دارای اهمیت باشند، پیشنهاد می شود از الگوریتم زنبور عسل استفاده شود، زیرا بر طبق نتایج حاصل از این پژوهش، کارایی بالاتر الگوریتم زنبور عسل نسبت به الگوریتم ژنتیک اثبات گردید.

#### **پیشنهادهای ناشی از پژوهش**

۱. با توجه به یافته های این پژوهش، پیشنهاد می گردد، مدیران جهت حل مسائل انتخاب سبد سهام، به علت سرعت قابل قبول حل مدل، از الگوریتم های ژنتیک و زنبور عسل استفاده نمایند.

۲. در صورتی که کارایی و سرعت، هر دو برای انتخاب سبد سهام دارای اهمیت باشند، پیشنهاد می شود به منظور انتخاب سبد بهینه ی سهام، از الگوریتم زنبور عسل استفاده شود. زیرا بر طبق نتایج حاصل از این پژوهش، کارایی بالاتر الگوریتم زنبور عسل نسبت به الگوریتم ژنتیک اثبات گردید.

منابع و مآخذ:

- Affenzeller M. Winkler S. Beham A. Genetic algorithm and genetic programming modern concepts and practical applications, Genetic Programming and Evolvable Machines 2009; 11(1): 123-125.
- Alavi garehbagh A . Bakhshi R. Survey of the common structures of Genetic Algorithm, Electrical Engineering Conference 2007; Tehran, Iran. (In Persian)
- Deng Yi. Genetic Algorithm for Financial Portfolio Selection, Master's Thesis 2002, University of Science & Technology Beijing, China.
- Ghasemi H. Najafi A. Portfolio Optimization in terms of Justifiability Short Selling and Some Market Practical Constraints, Journal of Financial Research 2012; 14(2): 117-132. (In Persian)
- Haupt R. Haupt S. E. Practical Genetic Algorithm, A John Willy Publication; Hoboken, New Jersey; 2007.
- Karaboga D. Basturk B. Advances in Soft Computing: Foundations of Fuzzy Logic and Soft Computing, Springer-Verlag 2007; 4529: 789-798.
- Karaboga D. Akay B. A comparative Study of Artificial Bee colony algorithm, Mathematics and Computation 2009; 214: 108-132.
- Kim Y. Park H. Hwang S. Kim J. Video sequence segmentation using genetic algorithms, Pattern Recognition Letters 2002; 23: 843-864.
- Lin Ch. Liu Y. Genetic algorithms for portfolio selection problems with minimum transaction lots. European Journal of Operational Research 2008; 185; 393-404.
- Mansini, R. Speranza, M. An exact approach for portfolio selection with transaction costs and rounds, IIE Transaction 2005; 37: 919-929.
- María L. Lizárraga S. A. Sanz M.T. Factors that affect decision making: gender and age differences, International Journal of Psychology and Psychological Therapy 2007; 7(3): 381-391.
- Marinaki M. Yannis M. Zopounidis C. Honey Bees Mating Optimization algorithm for financial classification problems, Soft Computing 2010; 10: 806-812.

- Navidi ghaziani H. Nojumi merkid A. Mirzazadeh H. Make optimal portfolio in Tehran stock exchange with using of genetic algorithms, Journal of Economic Research 2010; 89: 262-243. (In Persian)
  - Pham D.T. Ghanbarzadeh A. Koç E. Otri S. Rahim S. Zaidi M. The Bees Algorithm – A Novel Tool for Complex Optimization Problems, Proceedings of IPROMS Conference 2006; 454-461.
  - Shoaf J. Foster A. The efficient set GA for stock portfolios, in Proceedings of the IEEE International Conference on Evolutionary Computation, Anchorage, Alaska: IEEE Press 1998; 354–359.
  - Soleimani h. Golmakan h. Salimi m. Markowitz-based Portfolio selection with minimum transaction lots cardinality constraints and regarding sector capitalization using genetic algorithm, Expert Systems with Application 2009; 36 (3): 5058-5063.
  - Taleghani M. Engineering and Information Management 2003, Rasht: Katibeh gil. (In Persian)
  - Vassiliadis V. Dounias G. Nature Inspired Intelligence for the Constrained Portfolio Optimization Problem, Artificial Intelligence: Theories, Models and Applications, Lecture Notes in Computer Science 2008; 5138: 431-436.
  - Yang X.S. Engineering Optimizations via Nature-Inspired Virtual Bee Algorithms, Springer-Verlag 2005; 3562: 317-323.
20. Zhang Y. Wu L. Artificial Bee Colony for Two Dimensional Protein Folding, Advances in Electrical Engineering Systems 2012; 1 (1): 19-23.