

بهینه‌سازی سبد سهام در بازار بورس تهران با استفاده از تحلیل پوششی داده‌ها و الگوریتم جستجوی ارگانیک‌های همزیست

سیدعرفان محمدی^۱، عمران محمدی^{۲*}، فرناز برزین‌پور^۳

۱- دانشجوی دکتری، دانشکده مهندسی صنایع، دانشگاه علم و صنعت ایران، تهران، ایران

۲- استادیار، دانشکده مهندسی صنایع، دانشگاه علم و صنعت ایران، تهران، ایران

۳- دانشیار، دانشکده مهندسی صنایع، دانشگاه علم و صنعت ایران، تهران، ایران

پذیرش: ۱۳۹۶/۱۰/۹

دریافت: ۱۳۹۵/۱۲/۹

چکیده

امروزه، تشکیل سبد سهام بهینه و مدیریت آن از اصلی‌ترین حوزه‌های تصمیم‌گیری مالی بشمار می‌رود. بنابراین، انتخاب سبدهای سهام که بتواند به صورت همزمان بالاترین نرخ بازده را برای دارنده آن به ارمغان آورده و همچنین ریسک سرمایه‌گذاری را به حداقل میزان ممکن کاهش دهد، به یکی از دغدغه‌های اصلی فعالان اقتصادی مبدل گردیده است. لیکن در انتخاب سبد سهام بهینه، صرفاً این دو عامل تعیین‌کننده نبوده و متناسب با محیط اقتصادی می‌تواند عوامل مختلفی بر این فرآیند تأثیرگذار باشد که می‌بایست شناسایی و به‌کار گرفته شوند. لذا این امر، استفاده از رویکردهای تصمیم‌گیری چندمعیاره را اجتناب‌ناپذیر نموده است. از سوی دیگر، هنگامی که شرایط و محدودیت‌های دنیای واقعی نظیر محدودیت سرمایه‌گذاری در هر یک از سهامها و نیز محدودیت کاردینالیته در نظر گرفته می‌شوند، مسئله بهینه‌سازی سبد سهام به‌راحتی و با استفاده از شیوه‌های معمول ریاضی قابل‌حل نیست؛ به‌ویژه آنکه تعداد زیادی از دارایی‌ها در فرآیند بررسی و تشکیل سبد سهام در نظر گرفته شوند. از این رو با توجه به مطالب بیان‌شده، هدف اصلی پژوهش حاضر حل مسئله بهینه‌سازی سبد سهام با تلفیق روش‌های تحلیل پوششی داده‌ها و الگوریتم جستجوی

ارگانسیم‌های هم‌زیست است. در انتها نیز روش و مدل مورد استفاده در این پژوهش با داده‌های واقعی آزمون شده و نتایج آن مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفته است. نتایج این پژوهش نشان می‌دهد، رویکرد ارائه شده در بهینه‌سازی سبد سهام موفق عمل نموده و توانسته است به نحو مطلوبی پاسخگوی محدودیت‌ها و متغیرهای تأثیرگذار بازار باشد.

واژگان کلیدی: بهینه‌سازی سبد سهام، تحلیل پوششی داده‌ها، الگوریتم جستجوی ارگانسیم‌های هم‌زیست، بازار بورس تهران.

۱- مقدمه

بهینه‌سازی سبد سهام^۱، یکی از مهم‌ترین موضوعات در زمینه مسائل مالی است که در این راستا مدل‌ها و روش‌های متعددی تاکنون توسط محققان مختلف ارائه شده است. از جمله مهم‌ترین و به‌نوعی تأثیرگذارترین مطالعات صورت گرفته در این حوزه، می‌توان به مدل‌های مارکوویتز [۱] و شارپ [۲] اشاره نمود. مارکوویتز مدل اساسی سبد سهام را ارائه نمود که مبنایی برای نظریه مدرن سبد سهام قرار گرفت. وی پیشنهاد نمود علاوه بر در نظر گرفتن بازده سرمایه‌گذاری، معیار ریسک نیز در انتخاب دارایی‌ها برای سرمایه‌گذاری در نظر گرفته شود. در واقع، مارکوویتز اولین کسی بود که مفهوم سبد سهام و ایجاد تنوع را به صورت رسمی بیان نمود. او به صورت کمی نشان داد که چرا و چگونه متنوع‌سازی سبد سهام می‌تواند باعث کاهش ریسک سبد سهام یک سرمایه‌گذار شود. پس از مارکوویتز، شخص دیگری به نام شارپ با هدف کاهش میزان محاسبات و برآوردهای مدل مارکوویتز، مدل تک‌شاخصی را ارائه نمود که بازده هر اوراق بهادار را به شاخص بازده بازار مرتبط می‌ساخت. گفتنی است که علاوه بر این دو مدل، تاکنون مدل‌های متعدد دیگری نیز ارائه شده است. مدل‌های ارائه شده هرکدام دارای نواقصی است که در این تحقیق تلاش شده تا با استفاده از روش‌های مختلف و کارا، تا حد امکان این نواقص کاهش یابد و مدلی کارا تر توسعه داده شود.

یکی از مهم‌ترین مشکلات موجود در مدل‌های پیشین، عدم در نظر گرفتن شاخص‌ها و معیارهای چندگانه در ارزیابی کارایی سبد سهام است؛ لذا برای رفع این نقیصه

می‌بایست از رویکردهای تصمیم‌گیری چندمعیاره استفاده نمود. در این شرایط، روش تحلیل پوششی داده‌ها یکی از رویکردهای تصمیم‌گیری چندمعیاره خواهد بود که می‌تواند در تحقق این امر مورداستفاده قرار گیرد. این روش که با توسعه دیدگاه فارل [۳] توسط چارنز و همکاران [۴] ارائه شد، کارایی نسبی یک مجموعه از واحدهای تصمیم‌گیرنده را با استفاده از ورودی‌ها و خروجی‌های مربوطه محاسبه نموده و واحدهای موردبررسی را در دو گروه کارا و ناکارا طبقه‌بندی می‌نماید. بدین ترتیب با پیاده‌سازی این روش، سهم‌های کارا از میان انبوه سهم‌های موجود در بورس اوراق بهادار شناسایی می‌شوند.

ازجمله مطالعات صورت گرفته در زمینه کاربرد تحلیل پوششی داده‌ها در مسئله انتخاب سبد سهام می‌توان به پاور و مک مولن [۵] با هدف متمایز ساختن معیارهای عملکرد قوی در مجموعه‌ای از اوراق بهادار، ادیسینگ و ژانگ [۶] با هدف تعمیم مدل تحلیل پوششی داده‌ها و به‌کارگیری آن در بهینه‌سازی سبد سهام، لوپز و همکاران [۷] با هدف سرمایه‌گذاری در بورس اوراق بهادار برزیل و علی‌نژاد و همکاران [۸] با هدف انتخاب سبد سهام با وزن‌های مشترک اشاره نمود. در کشورمان نیز مطالعات قابل‌توجهی در این زمینه صورت پذیرفته است که از آن جمله می‌توان به خواجه‌سوی و همکاران [۹] با هدف تعیین سبدهای کاراترین شرکت‌های پذیرفته‌شده در بورس اوراق بهادار تهران، کاظمی و همکاران [۱۰] با هدف انتخاب سبد سهام با تلفیق روش‌های تحلیل پوششی داده‌ها و برنامه‌ریزی آرمانی، گودرزی و همکاران [۱۱] با هدف بهینه‌سازی سبد سهام با تلفیق تحلیل پوششی داده‌ها و روش تصمیم‌گیری هورویتز و همچنین آذر و همکاران [۱۲] با هدف تعیین سبدهای کارآمدترین و ناکارآمدترین شرکت‌های حاضر در بورس اوراق بهادار تهران اشاره نمود.

مشکل اساسی و مهم دیگر در مدل‌های پیشین، عدم توانایی راه‌حل‌های مرسوم ریاضی در مواجهه با پیچیدگی‌های محاسباتی ناشی از افزایش تعداد سهم‌ها یا در نظر گرفتن محدودیت‌های دنیای واقعی است؛ لذا برای غلبه بر چنین مشکلی می‌بایست چاره‌اندیشی نمود. ازاین‌رو در بازارهای سرمایه به دلیل بالا بودن تعداد سهم‌های موردبررسی، تلاش‌های بسیاری در زمینه حل مسئله مذکور صورت

پذیرفته است که از آن جمله می‌توان به استفاده از رویکردهای فراابتکاری^۱ اشاره نمود؛ از جمله این تلاش‌ها می‌توان به کاربرد الگوریتم ژنتیک^۲ توسط سجادی و همکاران [۱۳] در بهینه‌سازی سبد سهام با داده‌های غیرقطعی اشاره نمود که در آن از رویکردهای مختلف استوارسازی نیز استفاده شده است. همچنین دنگ و همکاران [۱۴] با به‌کارگیری الگوریتم بهینه‌سازی ازدحام ذرات^۳ اقدام به بهینه‌سازی سبد در حضور محدودیت کاردینالیته نمودند. در ادامه، نجفی و همکاران [۱۵] با ترکیب دو الگوریتم ژنتیک و بهینه‌سازی ازدحام ذرات اقدام به بهینه‌سازی سبد سهام چنددوره‌ای با در نظر گرفتن محدودیت هزینه‌های معامله نمودند. همچنین از دیگر مطالعات صورت‌گرفته در این زمینه به‌ویژه در کشور عزیزمان ایران می‌توان به [۱۶]، [۱۷] اشاره نمود.

لیکن نکته حائز اهمیت در تمامی مطالعات صورت گرفته، عدم توجه کافی به شرایط اقتصادی حاکم بر بازارهای مالی کشور به‌ویژه تأثیرپذیری صنایع داخلی از نوسانات نرخ ارز و همچنین عدم شناسایی و به‌کارگیری متغیرهای تأثیرگذار در فرآیند جذب سرمایه و پیش‌بینی تحولات بازارهای مالی به‌ویژه در بورس اوراق بهادار تهران است. همچنین با توجه به این مطلب که روش تحلیل پوششی داده‌ها عموماً به‌عنوان یک فیلتر اولیه عمل نموده و وظیفه تفکیک نمودن سهم‌های کارا را برعهده دارد، در صورتی که تعداد سهم‌های کارا از حد معینی بیشتر شود یا در مدل بهینه‌سازی از مفروضات دنیای واقعی همچون محدودیت کاردینالیته استفاده شود، فرآیند حل مسئله دارای پیچیدگی‌های محاسباتی خواهد بود که حل آن از طریق روش‌های مرسوم ریاضی و در زمان مناسب، امکان‌پذیر نخواهد بود.

از این رو در این مطالعه تلاش نموده‌ایم تا ضمن شناسایی متغیرهای مؤثر و کارا در فرآیند تشکیل سبد سهام بهینه، به‌ویژه در بورس اوراق بهادار تهران، اقدام به پیاده‌سازی یکی از رویکردهای نوین و نوظهور فراابتکاری با نام الگوریتم جستجوی ارگانیسم‌های همزیست^۴ در فرآیند حل مسئله نماییم که اولین بار توسط چنگ و

1. Meta-Heuristic Methods
2. Genetic Algorithm (GA)
3. Particle Swarm Optimization (PSO)
4. Symbiotic Organisms Search (SOS)

پرایوگو [۱۸] معرفی شده و تاکنون نیز در فرآیند بهینه‌سازی سبد سهام بکار گرفته نشده است.

اکنون پس از مرور کلی بر موضوع تحقیق، درمورد ساختار مقاله گفتنی است که در بخش دوم به معرفی بیشتر تحلیل پوششی داده‌ها و رویکرد انتخابی در این پژوهش به‌منظور بهینه‌سازی سبد سهام خواهیم پرداخت. در بخش سوم به رویکردهای حل فراابتکاری اشاره خواهد شد و الگوریتم جستجوی ارگانیسم‌های هم‌زیست به‌تفصیل موردبررسی قرار خواهد گرفت. در بخش چهارم به چگونگی تشکیل سبد سهام در قالب یک مثال عددی و با بهره‌گیری از داده‌های واقعی مستخرج از بازار بورس تهران خواهیم پرداخت و نهایتاً در بخش پنجم به بیان نتایج حاصل از این پژوهش و ارائه پیشنهادهایی جهت مطالعات آتی پرداخته خواهد شد.

۲- روش تحلیل پوششی داده‌ها

تحلیل پوششی داده‌ها روشی است که با استفاده از مفهوم کارایی نسبی که در رابطه ۱ نشان داده است، اقدام به محاسبه کارایی برای واحدهای مشابه و مقایسه آن‌ها می‌نماید. این مقایسه و تقسیم‌بندی واحدها به دو دسته کارا و ناکارا بر اساس یک مرز که تمامی واحدها را دربرگرفته و بر اساس مجموعه امکان تولید ساخته می‌شود، صورت می‌پذیرد. لازم به توضیح است که در رابطه ۱، u نشان‌دهنده وزن خروجی‌ها، v وزن ورودی‌ها، y خروجی‌ها، x ورودی‌ها، r زیروند خروجی‌ها، i زیروند ورودی‌ها، o واحد تحت بررسی، s تعداد خروجی‌ها و m تعداد ورودی‌هاست [۱۹].

$$RE_{DMU_o} = \frac{\sum_{r=1}^s u_r y_{ro}}{\sum_{i=1}^m v_i x_{io}} \quad (1)$$

تحلیل پوششی داده‌ها برای مشخص کردن وزن هر ورودی و خروجی در رابطه ۱، به هر واحد اجازه می‌دهد تا مجموعه‌ای از وزن‌ها را اختیار کند که آن را در مطلوب‌ترین وضعیت نسبت به دیگر واحدها نشان دهد. این انعطاف‌پذیری، به‌نوعی هم نقطه‌ضعف و هم نقطه قوت این روش به حساب می‌آید. ضعف آن در این است که امکان دارد وزن‌ها ربطی به ارزش ورودی‌ها و خروجی‌ها نداشته

باشند، ولی نقطه قوت آن در این است که برای بازنگری عملکرد و همچنین عدم انتخاب واحدی که کارایی آن کمتر از یک باشد، جای هیچ شک و تردیدی را باقی نمی‌گذارد [۲۰]؛ لذا با توجه به این ویژگی، می‌توان از DEA برای پالایش سهم‌ها و کنار گذاشتن سهم‌های ناکارا از دایره انتخاب استفاده نمود. اکنون با این تفاسیر برای واحد مورد مطالعه خواهیم داشت:

$$\text{Max } z = \frac{\sum_{r=1}^s u_r y_{ro}}{\sum_{i=1}^m v_i x_{io}} \quad (2)$$

Subjected to:

$$\frac{\sum_{r=1}^s u_r y_{rj}}{\sum_{i=1}^m v_i x_{ij}} \leq 1, \quad (j = 1, 2, \dots, n) \quad (3)$$

$$u_r \geq 0, \quad (r = 1, 2, \dots, s) \quad (4)$$

$$v_i \geq 0, \quad (i = 1, 2, \dots, m) \quad (5)$$

به مدل ۲ که اولین بار توسط چارنز و همکاران [۴] معرفی شد، مدل نسبت CCR گفته می‌شود که متغیرهای آن، وزن‌ها بوده و در آن زیروند z مربوط به واحدها و n تعداد واحدهاست. این مدل علی‌رغم اینکه یک مدل برنامه‌ریزی غیرخطی است، ولی به راحتی به یک مدل برنامه‌ریزی خطی تبدیل می‌شود که این مدل برنامه‌ریزی خطی، مدل مضربی CCR در ماهیت خروجی (CCR_{M-O}) نام دارد [۲۱]. لیکن در این پژوهش به دلیل دارا بودن فرض بازده به مقیاس متغیر و همچنین وجود خروجی‌های نامطلوب در مدل و ضرورت داشتن تسلط بیشتر بر خروجی‌ها از مدل پوششی BCC در ماهیت خروجی (BCC_{C-O}) استفاده شده است که در نهایت، این مدل به صورت زیر خواهد بود:

$$\text{Max } z = \theta \quad (6)$$

Subjected to:

$$\sum_{j=1}^n \lambda_j x_{ij} \leq x_{i0}, \quad (7)$$

$$\sum_{j=1}^n \lambda_j Y_{rj}^G \geq \theta Y_{r0}^G, \quad (8)$$

$$\sum_{j=1}^n \lambda_j Y_{rj}^B \geq \theta Y_{r0}^B, \quad (9)$$

$$\sum_{j=1}^n \lambda_j = 1, \quad (10)$$

$$\lambda_j \geq 0, \quad (j = 1, 2, \dots, n) \quad (11)$$

که در مدل فوق، خروجی‌های مسئله به دو دسته مطلوب (Y_{rj}^G) و نامطلوب (Y_{rj}^B) تقسیم شده‌اند. طبق رویکرد ژوو [۲۲]، یک راه برای تبدیل خروجی‌های نامطلوب، ضرب آن‌ها در (-۱) و جمع کردن آن‌ها با خروجی‌های مطلوب است. بدین ترتیب، در کنار بیشینه کردن خروجی‌های مطلوب، خروجی‌های نامطلوب نیز کمینه می‌شوند. مؤلفه‌های تأثیرگذار در تصمیم‌گیری برای سرمایه‌گذاری، میزان ریسک و بازده دارایی‌های سرمایه‌ای هستند. اغلب سرمایه‌گذاران به دنبال حداکثر نمودن بازدهی خود در سطح معینی از ریسک یا کمینه نمودن ریسک در سطح معینی از بازده هستند. شایان‌ذکر است که از جمله محدودیت‌های کاربردی در بهبودسازی سبد سهام می‌توان به حداقل یا حداکثر میزان سرمایه‌گذاری در یک دارایی اشاره نمود که توسط بیل و فارست [۲۳] به مدل اولیه مارکوئیتز اضافه شد. در ادامه نیز با توجه به تمایل سرمایه‌گذاران به در اختیار داشتن و مدیریت سببی از سهام که تعداد محدودتری از دارایی‌ها را در خود جای داده باشد، محدودیت دیگری تحت عنوان «محدودیت‌کاریدینالیتی» به مدل اولیه مارکوئیتز اضافه شد؛ لذا فرناندز و گومز [۲۴]

مدل مارکوویتز را با افزودن محدودیت حدود بالا و پایین برای هر یک از سهم‌ها، اصلاح نموده و مدل میانگین-واریانس با مؤلفه‌های مقید^۱ را به وجود آوردند. اکنون در صورتی که محدودیت تعداد سهم‌های منتخب نیز به مسئله فوق افزوده شود، مدل مربوطه به شکل زیر نشان داده خواهد شد:

$$\text{Min } \lambda \left[\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n z_i x_i z_j x_j \sigma_{ij} \right] - (1 - \lambda) \left[\sum_{i=1}^n z_i x_i \mu_i \right] \quad (12)$$

Subjected to:

$$\sum_{i=1}^n x_i = 1, \quad (13)$$

$$\sum_{i=1}^n z_i = k, \quad (14)$$

$$l_i z_i \leq x_i \leq u_i z_i, \quad (i = 1, \dots, n) \quad (15)$$

$$z_i \in [0,1], \quad (i = 1, \dots, n) \quad (16)$$

$$x_i \geq 0, \quad (i = 1, \dots, n) \quad (17)$$

$$x_j \geq 0. \quad (j = 1, \dots, n) \quad (18)$$

در مدل فوق که مدل اصلی مورد بررسی در این مقاله نیز هست، λ مولفه ای است که در فاصله $[0,1]$ تغییر کرده و میزان اهمیت به هر یک از توابع هدف اصلی را نشان می‌دهد.

مجموعه معادلات مدل میانگین-واریانس با مؤلفه‌های مقید ترکیبی از مسئله برنامه‌ریزی عدد صحیح^۲ و مسئله برنامه‌ریزی درجه دوم است؛ به عبارت دیگر، افزایش تعداد دارایی‌ها در فرآیند تشکیل سبد سهام، در نظر گرفتن محدودیت

1. Cardinality Constraint Mean-Variance (CCMV)
2. Integer Programming (IP)

سرمایه‌گذاری در هریک از دارایی‌ها و نیز لحاظ نمودن محدودیت کاردینالیته، موضوع بهینه‌سازی سبد سهام را به یک مسئله ان‌پی سخت^۱ تبدیل می‌نماید که برای حل دقیق این نوع مسائل، الگوریتم‌های مؤثر و کارایی در برنامه‌ریزی ریاضی^۲ وجود ندارد. لذا در این پژوهش با هدف تشکیل سبد سهام بهینه و شناسایی مرز کارای سرمایه‌گذاری، به بررسی امکان شناسایی و تشکیل سبد سهام بهینه توسط الگوریتم جستجوی ارگانیزم‌های همزیست پرداخته خواهد شد.

۳- الگوریتم‌های فراابتکاری در فرآیند حل مسئله

در این قسمت، ابتدا به برخی از مهم‌ترین روش‌های حل فراابتکاری مسئله که در مبانی نظری تحقیق موردتوجه قرار گرفته‌اند، اشاره خواهیم نمود و در ادامه، به صورت کاملاً تفصیلی، به معرفی الگوریتم جستجوی ارگانیزم‌های همزیست پرداخته خواهد شد.

الگوریتم ژنتیک که اولین بار توسط جان هالند [۲۵] ارائه شد یک نوع الگوریتم جستجوی مبتنی بر سازوکار انتخاب طبیعی و علم ژنتیک است. این الگوریتم قدرت بقای بهترین ساختار رشته‌ای را با عمل تعویض تصادفی اطلاعات ترکیب کرده و الگوریتم جستجوی بسیار قدرتمندی را تشکیل می‌دهد. همچنین الگوریتم بهینه‌سازی ازدحام ذرات نیز اولین بار توسط کندی و البرهارت [۲۶] مطرح شد. در تدوین این روش از پرواز گروهی پرندگان، شنای گروهی ماهی‌ها و زندگی اجتماعی آنان الهام گرفته شده که با استفاده از یک سری روابط ریاضی ساده فرمول‌بندی شده است. در این روش، تغییر موقعیت هر ذره در فضای جستجو تحت تأثیر تجربه و دانش خود و همچنین همسایگانش خواهد بود.

بااین‌وجود، در چند سال اخیر با توجه به محدودیت‌های موجود در روش‌های حل دقیق، پژوهش‌های زیادی در زمینه استفاده از الگوریتم‌های فراابتکاری به منظور بهینه‌سازی سبد سهام صورت پذیرفته است که یکی از کاراترین روش‌های مورد استفاده در این زمینه، الگوریتم جستجوی ارگانیزم‌های همزیست است. الگوریتم جستجوی ارگانیزم‌های همزیست که توسط چنگ و

1. NP-Hard
2. Mathematical Programming (MP)

پرایوگو برای اولین بار در مجله رایانه و ساختارها معرفی شد [۱۸]، یکی از جدیدترین روش‌های حل فراابتکاری مسئله بشمار می‌رود. این الگوریتم با الهام از روابط و کنش‌های زیستی موجود در اکوسیستم، روابطی را شبیه‌سازی می‌کند که توسط موجودات زنده برای بقا در طبیعت اجرا می‌شوند. ارگانیسم‌ها در طبیعت، به ندرت به تنهایی زندگی می‌کنند و در طول حیاتشان مرتباً تحت تأثیر جانداران دیگر قرار می‌گیرند. در این بین، برخی از این فعل‌وانفعالات منجر به بهبود زندگی آن‌ها شده و سازگاری آن‌ها را در طبیعت بالاتر می‌برد. این روابط به‌طور خلاصه هم‌زیستی^۱ نامیده می‌شوند. در طبیعت، سه نوع رابطه هم‌زیستی به‌وفور دیده می‌شود: رابطه همیاری^۲، رابطه همسفرگی^۳ و رابطه انگلی^۴. همیاری به روابطی اطلاق می‌شود که هر دو طرف رابطه از آن سود و بهره می‌برند. در حالی که در روابط همسفرگی تنها یک طرف رابطه از آن بهره برده و سازگاری بیشتری با اکوسیستم پیدا می‌کند و جاندار دیگر، نسبت به آن بی‌تفاوت بوده و این رابطه هم‌زیستی نه سود و نه زیانی برایش خواهد داشت. در روابط انگلی، یک طرف رابطه از آن بهره برده و طرف دیگر به شدت آسیب می‌بیند و در اکثر موارد نیز از بین خواهد رفت. در الگوریتم جستجوی ارگانیسم‌های هم‌زیست، از مدل کردن این سه نوع رابطه برای بهینه‌سازی مسئله استفاده می‌شود.

همچون دیگر روش‌های فراابتکاری، این الگوریتم نیز با یک جمعیت اولیه شروع به کار کرده که به آن اکوسیستم می‌گوییم. این الگوریتم، با سازوکار خاص خود با اکوسیستم تعامل می‌نماید و در فضای جواب مسئله، به دنبال پاسخ‌های هرچه بهتر می‌گردد. در این روش، اکوسیستم از تعدادی ارگانیسم یا جاندار تشکیل شده است که هرکدام از آن‌ها، نماینده یک نقطه و یک نامزد برای پاسخ مسئله هستند. هر ارگانیسم در حقیقت نقطه‌ای است که به تعداد متغیرهای تصمیم مسئله، مؤلفه دارد. بنابراین می‌توان مقدار تابع هدف را برای هر ارگانیسم محاسبه نموده و به‌نوعی آن را مورد ارزیابی قرار داد. مقدار تابع هدف به‌دست آمده، نمایانگر سازگاری ارگانیسم مذکور با طبیعت است. در تمامی روش‌های فراابتکاری، مجموعه‌ای از عملیات‌ها

1. Symbiosis
 2. Mutualism Relationship
 3. Commensalism Relationship
 4. Parasitism Relationship

وجود دارد که الگوریتم موردنظر با اجرای آن‌ها بر روی جمعیت اولیه، جمعیت‌های بعدی و بهبودیافته را تشکیل می‌دهد که در این الگوریتم نیز این وظیفه بر عهده سه فاز همیاری، همسفرگی و انگلی است. الگوریتم از سه فاز اصلی تشکیل می‌شود که به ترتیب عبارت‌اند از: فاز همزیستی همیاری، فاز همزیستی همسفرگی و فاز همزیستی انگلی [۱۸]. بنابراین، همان‌گونه که در شکل ۴ مشاهده می‌شود، ساختار کلی این الگوریتم به صورت زیر خواهد بود.

- فاز تولید جمعیت اولیه؛
- حلقه تکرار الگوریتم:
- فاز همیاری،
- فاز همسفرگی
- و فاز انگلی؛
- تکرار حلقه تا رسیدن به شرایط خاتمه.

در ادامه به تشریح هریک از فازهای این الگوریتم پرداخته شده است. در فاز همزیستی همیاری همان‌گونه که در شکل ۱ نیز نشان داده شده است، x_i که نشان‌دهنده ارگانیسم i ام اکوسیستم است در نظر گرفته شده و x_j نیز که ارگانیسم z ام اکوسیستم است، به صورت تصادفی از میان ارگانیسم‌های موجود در طبیعت انتخاب می‌شود تا ارگانیسم‌های i ام و z ام همزیستی همیاری را با یکدیگر بیازمایند. پس از تغییرات حاصل از رابطه همزیستی همیاری، دوباره نقاط جدید به دست آمده ارزیابی می‌شوند و اگر تغییرات اعمال شده در جهت بهبود و سازگاری هرچه بیشتر هر دو ارگانیسم باشند، این تغییرات قطعی شده و نقاط جدید حفظ می‌شوند. در غیر این صورت، تغییرات صورت پذیرفته اعمال نمی‌شوند. این عملیات برای تمامی ارگانیسم‌های موجود در اکوسیستم، طبق روابط ۱۹، ۲۰ و ۲۱ تکرار خواهند شد.

$$x_{i\text{new}} = x_i + \text{rand}(0,1) * (x_{\text{best}} - \text{Mutual_Vector} * BF_1) \quad (19)$$

$$x_{j\text{new}} = x_j + \text{rand}(0,1) * (x_{\text{best}} - \text{Mutual_Vector} * BF_2) \quad (20)$$

$$Mutual_Vector = \frac{x_i + x_j}{2} \quad (21)$$

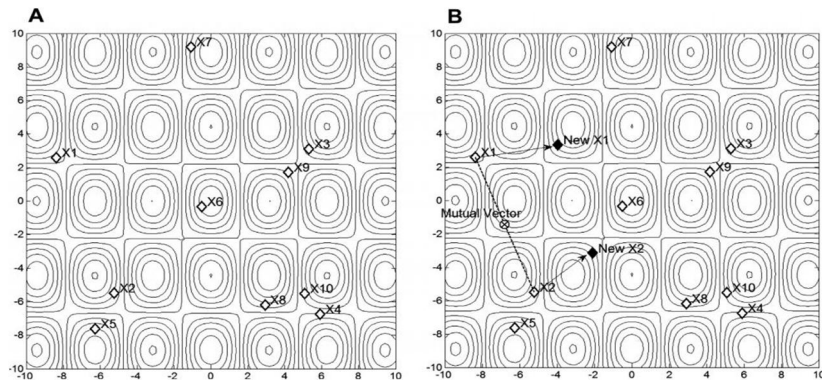
در روابط همزیستی همیاری، ممکن است که یک ارگانیسم نسبت به ارگانیسم دیگر از بهره‌مندی بیشتری برخوردار شود. بنابراین، نیاز به ابزاری است تا این موضوع را نیز شبیه‌سازی کند؛ BF_1 و BF_2 اعدادی هستند که با مقدارگیری تصادفی از میان اعداد ۱ و ۲ موضوع مذکور را شبیه‌سازی می‌کنند. در قسمت $(x_{best} - Mutual_Vector * BF_1)$ ، تلاش ارگانیسم‌ها برای رسیدن به بالاترین حد سازگاری موجود در طبیعت شبیه‌سازی می‌شود.

در فاز همزیستی همسفرگی - همان‌گونه که در شکل ۲ نیز نشان داده شده است - همانند قسمت همیاری، x_j به صورت تصادفی از جمعیت اکوسیستم برای همزیستی با x_i انتخاب شده و عملگر همسفرگی طبق رابطه زیر اجرا خواهد شد. گفتنی است همانند پدیده همسفرگی در طبیعت، رابطه همزیستی همسفرگی نیز تفاوتی در x_j ایجاد نمی‌نماید.

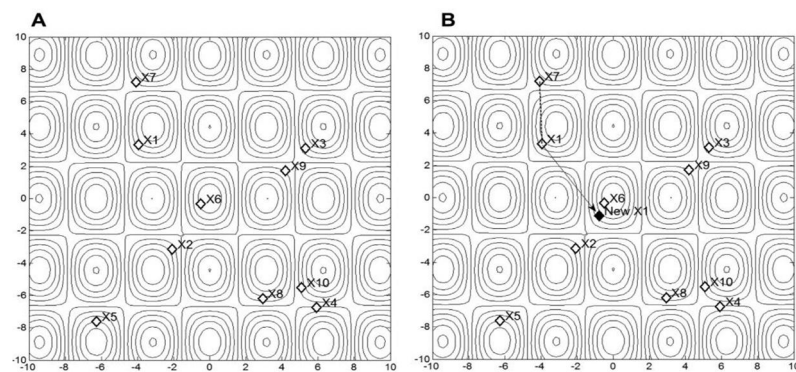
$$x_{i_{new}} = x_i + rand(-1,1) * (x_{best} - x_j) \quad (22)$$

این تغییر نیز در صورتی حفظ و اعمال خواهد شد که منجر به بهبود تابع هدف x_i شود. در فاز همزیستی انگلی x_i نقش انگل را بازی می‌کند که به آن بردار انگلی^۱ نیز می‌گوییم. همان‌گونه که در شکل ۳ نیز نشان داده شده است، به منظور ایجاد بردار انگلی، یک نمونه مشابه x_i ساخته شده و سپس این نمونه در جهاتی تصادفی و با مقادیری تصادفی در فضای جواب حرکت می‌کند. حال x_j به صورت تصادفی از میان جمعیت اکوسیستم انتخاب شده و میزبان انگل ساخته شده می‌شود؛ بدین صورت که تابع هدف هم برای x_j و هم برای بردار ساخته شده محاسبه می‌شود، اگر مقدار تابع هدف برای بردار انگلی ساخته شده بهتر بود، بردار ساخته شده جایگزین x_j شده و x_j از بین می‌رود؛ در غیر این صورت، x_j بر بردار انگلی غلبه کرده و بردار ساخته شده از بین خواهد رفت.

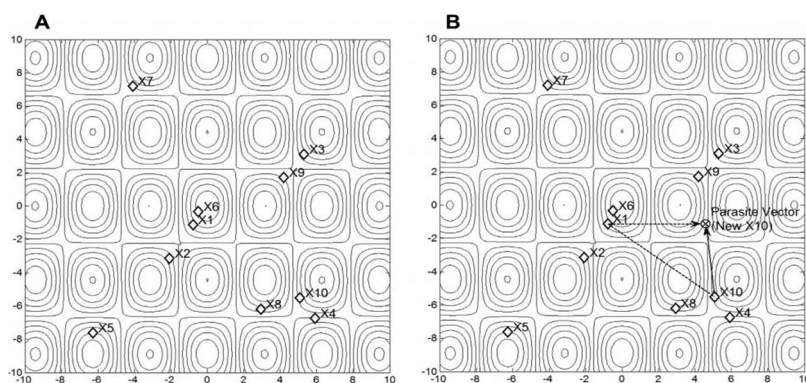
1. Parasite Vector



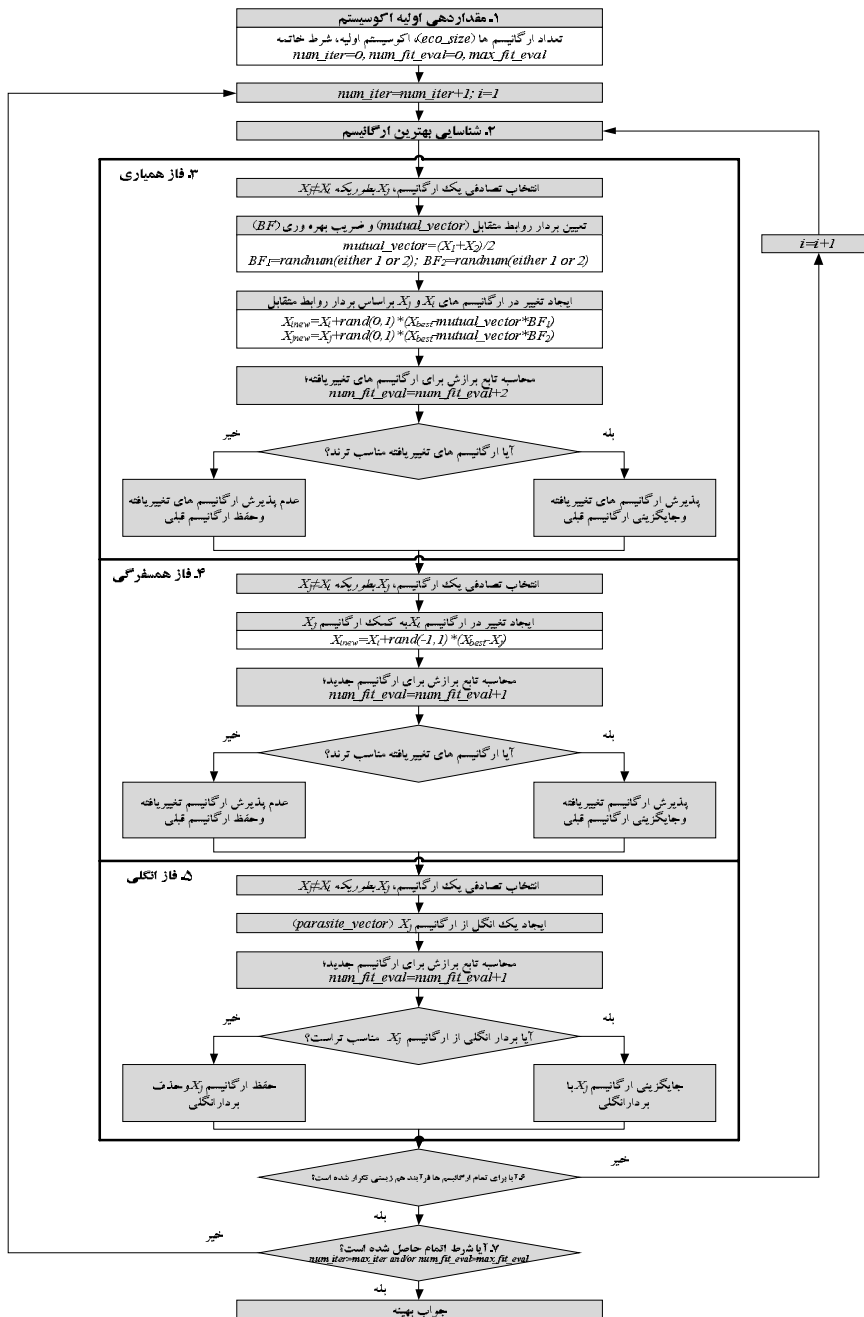
شکل ۱- عملیات همزیستی همیاری؛ (A): موقعیت پیش از شروع فاز و (B): موقعیت پس از اتمام فاز



شکل ۲ عملیات همزیستی همسفرگی؛ (A): موقعیت پیش از شروع فاز و (B): موقعیت پس از اتمام فاز



شکل ۳ عملیات همزیستی انگلی؛ (A): موقعیت پیش از شروع فاز و (B): موقعیت پس از اتمام فاز



شکل ۴ الگوریتم جستجوی ارگانیسم‌های همزیست

۴- نتایج محاسباتی

در این پژوهش، داده‌های جمع‌آوری شده متعلق به ۶۸ شرکت پذیرفته‌شده در سازمان بورس و اوراق بهادار تهران است که در حفاصل فروردین‌ماه ۱۳۹۰ تا اسفندماه ۱۳۹۵ اخذ و تحلیل شده‌اند. برای انتخاب مجموعه سهام محدودیت‌های زیر اعمال شده است:

(الف) پایان سال مالی آن‌ها ۲۹ اسفند باشد، (ب) در دوره موردبررسی توقف نماد بیش از شش ماه نداشته باشند و (ج) اطلاعات و صورت‌های مالی آن‌ها کامل و در دسترس باشد.

در این تحقیق، متغیرهای «ارزش بازار به ارزش دفتری»، «نسبت قیمت به درآمد»، «نسبت بدهی به حقوق صاحبان سهام» و «وابستگی قیمت هر سهم به دلار»، به‌عنوان متغیرهای ورودی و همچنین متغیرهای «بازده ۵ ساله سهام» و «نوسان‌پذیری بازده» به‌عنوان متغیرهای خروجی مسئله در نظر گرفته شده‌اند. گفتنی است که خروجی اول مدل به‌عنوان خروجی مطلوب و خروجی دوم به‌عنوان خروجی نامطلوب در نظر گرفته شده است.

همان‌گونه که مشاهده می‌شود، در این تحقیق علاوه بر متغیرهای مرسوم در تحلیل بازارهای مالی، از متغیر ورودی دیگری به‌نام ضریب همبستگی قیمت هر سهم با دلار نیز استفاده شده است که نقش بسیار مهمی را در موفقیت یک سرمایه‌گذاری به‌ویژه در بازارهای مالی کشورمان ایفا می‌نماید. در تعداد قابل‌توجهی از پژوهش‌های صورت گرفته محققین اقدام به استفاده از ضریب بتا نموده‌اند. به عبارتی، ضریب همبستگی قیمت سهام با شاخص بورس اوراق بهادار را مورد تحلیل و ارزیابی قرار داده‌اند؛ حال آنکه در تحقیق حاضر با توجه به اهمیت نرخ ارز و تأثیر آن بر اقتصاد و بازارهای داخلی کشور و همچنین کارایی نامناسب شاخص بورس اوراق بهادار، از نرخ دلار به‌عنوان عاملی که می‌تواند نقش مهمی در بورس اوراق بهادار و همچنین سایر بازارهای مالی کشور داشته باشد، استفاده شده است.

جدول ۱ متغیرهای مورد استفاده در روش تحلیل پوششی داده‌ها

متغیرهای ورودی	نماد	متغیرهای خروجی	نماد
ارزش بازار به ارزش دفتری	$I_{(1)}$	بازده ۵ ساله سهام	$O_{(1)}$
نسبت قیمت به درآمد	$I_{(2)}$	نوسان‌پذیری بازده سهام	$O_{(2)}$
نسبت بدهی به حقوق صاحبان سهام	$I_{(3)}$		
ضریب همبستگی قیمت سهام باقیمت دلار	$I_{(4)}$		

اکنون، نحوه گزینش سهم‌های انتخاب‌شده در این تحقیق با توجه به رابطه تعداد ورودی‌ها و خروجی‌ها با تعداد دی‌ام‌یو‌ها شرح داده خواهد شد. عدم به‌کارگیری رابطه ۲۳ موجب می‌شود که با حل مدل، تعداد زیادی از واحدها بر روی مرز کارایی قرار بگیرند و کارایی آن‌ها برابر یک در نظر گرفته شود که این امر منجر به کاهش قدرت تفکیک‌پذیری واحدها شده و به عبارتی، مدل توانایی خود را در تعیین واحدهای کارا از دست خواهد داد.

$$(۲۲) \quad (\text{تعداد خروجی} + \text{تعداد ورودی}) \geq ۳ \text{ تعداد واحدهای مورد ارزیابی}$$

با توجه به اینکه مدل تحقیق دارای چهار متغیر ورودی و دو متغیر خروجی است، لذا برای ارضای رابطه ۲۳، حداقل تعداد سهام موردنیاز ۱۸ سهم است که با توجه به ۶۸ سهام در نظر گرفته‌شده از بورس اوراق بهادار تهران شرط ارضای رابطه ۲۳ برقرار خواهد بود. در ادامه و به کمک روش DEA، سهم‌های موجود را به دو دسته کارا و ناکارا تفکیک می‌نماییم که اطلاعات آن‌ها در جداول ۳ و ۴ آورده شده است.

پس از اعمال مدل (BCC_{CO}) بر داده‌های مذکور تعداد ۳۴ سهم به‌عنوان سهم‌های کارا شناسایی شده‌اند که می‌بایست به‌منظور تشکیل سبد سهام بهینه مورد استفاده قرار گیرند. گفتنی است که در جدول ۴، θ ضریب کارایی، s_i مازاد متغیر ورودی i ام

و t_r کمبود متغیر خروجی r ام است، لذا در ادامه و به منظور تشکیل سبد سهام بهینه در یک افق زمانی یک‌ساله و تک دوره‌ای، الگوریتم جستجوی ارگانسیم‌های هم‌زیست بر روی سهم‌های کارا پیاده‌سازی شده است که نتایج آن در قالب جداول و نمودارهای زیر بیان شده‌اند.

لذا برای ۵۱ مقدار متفاوت از λ با نرخ افزایش $0/02$ در بازه $[0,1]$ ، الگوریتم جستجوی ارگانسیم‌های هم‌زیست را اجرا نموده و نتایج حاصل از آن را ثبت نمودیم. در این تحقیق، محدودیت تعداد سهم‌های منتخب به صورت $k = 10$ و همچنین حدود پایین و بالای سهام i ام به ترتیب معادل $0/01$ و 1 در نظر گرفته شده است. گفتنی است که تمامی محاسبات انجام شده در این پژوهش بوسیله رایانه‌ای با ۸ گیگابایت حافظه داخلی و پردازشگر پنج هسته‌ای $2/3$ گیگاهرتز صورت پذیرفته است.

در همین راستا، مدل میانگین-واریانس با مؤلفه‌های مقید با دو رویکرد بهینه‌سازی ازدحام ذرات و الگوریتم ژنتیک نیز مورد حل قرار گرفته است و مقایسه‌ای تحلیلی پیرامون عملکرد هر یک صورت پذیرفته که در قالب جداول و اشکال زیر بیان شده‌اند.

جدول ۲ تنظیم مؤلفه‌ها در هر یک از رویکردهای فراابتکاری

جستجوی ارگانسیم‌های هم‌زیست (SOS)		الگوریتم ژنتیک (GA)		بهبوده‌سازی ازدحام ذرات (PSO)	
۱۰۰	(nPop)	۱۰۰	(nPop)	۱۰۰	(nPop)
۱۰۰	(MaxIt)	۱۰۰	(MaxIt)	۱۰۰	(MaxIt)
		۰/۷	(pCrossover)	۰/۷۲	(W)
		۰/۲	(pMutation)	۱/۴۹	(C1)
				۱/۴۹	(C2)

جدول ۳ متغیرهای ورودی و خروجی در مدل (BCCC-O)

O(2)	O(1)	I(4)	I(3)	I(2)	I(1)	DMU	O(2)	O(1)	I(4)	I(3)	I(2)	I(1)	DMU
۲/۶۸	۰/۴۶	۰/۱۱	۴/۰۸	۷/۳۲	۱/۸۱	رایان سایپا	۳/۲۷	۰/۳۱	۰/۰۰	۴/۷۶	۴/۹۸	۲/۳۱	افست
۲/۶۳	۰/۲۹	۰/۱۶	۱/۴۱	۱۴/۲۱	۱/۱۴	کرین ایران	۲/۶۳	۰/۴۴	۰/۵۱	۰/۷۶	۵/۶۲	۲/۸۷	البرز دارو
۳/۱۵	۰/۶۳	۱/۳۲	۱/۰۵	۶/۲۸	۳/۶۴	پتروشیمی فناوران	۲/۷۵	۰/۶۱	۰/۴۲	۲/۵۴	۱۱/۶۵	۳/۷۵	ایران ترانسفور
۲/۴۲	۰/۳۴	۰/۱۱	۱۱/۲۰	۵/۶۴	۰/۸۷	بانک صادرات	۲/۲۴	۰/۳۷	۰/۱۴	۵/۶۳	۶/۰۱	۲/۱۹	ایران خودرو
۲/۸۹	۰/۴۷	۰/۱۶	۱۷/۹۵	۴/۸۹	۱/۳۶	بانک ملت	۳/۰۲	۰/۴۲	۰/۳۶	۱/۵۴	۵/۷۶	۲/۳۲	ایران دارو
۲/۸۲	۰/۳۸	۰/۱۲	۱۴/۳۶	۹/۲۷	۰/۷۲	بانک تجارت	۲/۶۴	۰/۳۸	۰/۱۸	۰/۷۸	۴/۴۳	۱/۰۹	ایرکا پارت
۳/۰۴	۰/۲۱	۰/۰۶	۱۹/۰۲	۱۳/۴۳	۱/۲۴	بانک پارسیان	۳/۲۰	۰/۲۳	۰/۳۷	۰/۲۹	۱۳/۸۷	۱/۹۲	کاما
۳/۱۵	۰/۳۲	۰/۰۵	۶/۸۹	۵/۸۷	۱/۴۳	بانک کارآفرین	۲/۹۱	۰/۵۴	۰/۴۱	۰/۷۶	۳۲/۸۹	۲/۶۴	بیسکویت گرجی
۳/۲۲	۰/۲۸	۰/۱۴	۱۷/۲۰	۴/۲۳	۱/۳۵	بانک اقتصاد نوین	۲/۸۶	۰/۲۸	۱/۲۵	۲/۱۲	۴/۶۵	۵/۹۴	پارس دارو
۳/۱۶	۰/۳۰	۰/۱۱	۰/۶۵	۶/۳۲	۱/۷۲	مخابرات ایران	۳/۲۳	۰/۳۸	۰/۷۶	۱/۴۴	۵/۹۸	۱/۶۴	پتروشیمی آبادان
۲/۹۳	۰/۲۸	۰/۱۷	۱/۵۵	۶/۴۵	۱/۳۵	حمل و نقل توکا	۲/۲۷	۰/۷۵	۱/۱۹	۲/۶۷	۶/۱۲	۱/۹۲	پتروشیمی فارابی
۲/۴۵	۰/۶۱	۰/۴۳	۱/۷۲	۷/۸۲	۱/۵۲	آبسال	۳/۳۲	۰/۱۷	۰/۱۳	۱/۷۲	۶/۶۵	۱/۹۶	تایدواتر خاورمیانه
۲/۸۹	۰/۲۸	۰/۲۱	۱/۲۱	۱۰/۸۴	۱/۵۳	سرما آفرین	۲/۶۹	۰/۱۹	۰/۰۵	۲/۲۲	۲۸/۳۴	۱/۶۷	چرخشگر
۳/۰۱	۰/۲۳	۰/۲۳	۲/۳۰	۱۰/۱۲	۱/۴۶	کاشی سعدی	۲/۸۳	۰/۹۴	۱/۷۲	۱/۳۵	۶/۰۲	۳/۶۵	خاک چینی
۳/۰۷	۰/۲۴	۰/۲۶	۲/۹۵	۱۶/۱۰	۱/۳۸	چینی ایران	۲/۵۴	۰/۶۳	۰/۴۳	۲/۸۵	۱۲/۲۸	۶/۸۲	دارو ابوریحان
۳/۰۵	۰/۲۹	۰/۲۳	۱/۴۵	۱۰/۲۲	۲/۲۲	صنایع آنرآب	۲/۹۱	۰/۴۵	۰/۶۷	۱/۳۳	۷/۰۳	۳/۵۷	داروسازی اسوه
۳/۱۲	۰/۳۲	۰/۰۹	۱۹/۹۴	۲/۱۵	س. صنعت نفت	۱/۹۲	۰/۶۴	۰/۲۷	۱/۱۰	۶/۹۰	۲/۰۴	داروسازی امین	
۳/۴۳	۰/۲۶	۰/۱۴	۱۰/۰۴	۲۰/۵۴	۴/۰۲	لبنیات پاک	۲/۲۶	۰/۵۴	۰/۳۲	۱/۲۴	۴/۵۲	۲/۱۶	داروسازی حیان
۳/۱۳	۰/۲۴	۰/۱۶	۱/۵۴	۶/۰۲	۱/۷۸	حفاری شمال	۳/۰۳	۰/۵۹	۱/۳۴	۱/۷۸	۱۰/۲۳	۵/۳۸	داروسازی رازک
۲/۴۲	۰/۱۶	۰/۰۸	۰/۳۵	۴/۴۳	۰/۹۲	س.گ. ایران خودرو	۲/۶۴	۰/۲۶	۰/۱۵	۲/۰۲	۷/۷۸	۱/۲۷	تراکتورسازی
۲/۷۲	۰/۴۲	۰/۱۲	۰/۷۴	۴/۷۲	۰/۶۵	س.گ. سایپا	۲/۸۲	۰/۳۱	۰/۱۲	۲/۴۵	۵۰/۶۴	۱/۳۸	زامیاد
۲/۵۶	۰/۳۱	۰/۰۹	۵۲/۱۳	۴۵/۱۸	۳/۴۱	پارس خودرو	۳/۲۵	۰/۳۳	۰/۰۸	۶/۱۵	۹۷/۸۷	۳/۳۲	سایپا
۲/۸۴	۰/۳۶	۰/۰۷	۰/۷۳	۵/۱۶	۰/۹۳	گروه بهمن	۳/۳۴	۰/۰۸	۰/۲۴	۰/۶۴	۳/۸۴	۱/۰۳	سیمان داراب
۳/۱۶	۰/۳۴	۱/۷۲	۱/۵۴	۴/۳۲	۱/۷۳	فولاد خوزستان	۲/۷۴	۰/۳۲	۰/۱۶	۱/۷۵	۴/۷۵	۱/۵۴	سیمان شاهرود
۳/۲۸	۰/۲۵	۰/۳۱	۱/۲۵	۳/۹۲	۱/۳۴	فولاد اصفهان	۲/۸۷	۰/۲۷	۰/۱۶	۱/۲۳	۳/۳۴	۱/۱۳	سیمان شمال
۳/۲۲	۰/۴۷	۰/۷۳	۱/۰۲	۷/۰۲	۲/۴۵	ص. معدنی گلکهر	۲/۵۲	۰/۶۴	۰/۲۸	۱/۲۳	۵/۶۷	۲/۷۴	گروه صنعتی بارز
۲/۸۹	۰/۲۶	۰/۱۴	۴/۲۵	۷/۳۲	۳/۰۳	شیشه و گاز	۳/۳۷	۰/۲۱	۰/۴۲	۰/۹۴	۹/۶۵	۱/۶۵	کالسیمین
۱/۱۲	۰/۷۶	۱/۷۳	۱/۲۵	۴/۷۶	۲/۸۵	فرآورد نسوز ایران	۳/۰۶	۰/۱۲	۰/۱۴	۱/۰۶	۳۵/۶۴	۰/۷۳	نورد آلومینیوم
۳/۰۹	۰/۷۲	۰/۹۴	۱/۲۰	۵/۰۴	۲/۱۴	پتروشیمی شازند	۳/۵۲	۰/۲۹	۰/۵۶	۰/۴۵	۶/۵۵	۱/۲۵	صنایع مس ایران
۳/۱۵	۰/۳۶	۰/۱۴	۰/۱۶	۳/۱۸	۱/۲۶	ت. صنایع بهشهر	۳/۰۱	۰/۲۳	۰/۴۲	۶/۰۳	۵/۸۶	۲/۴۳	آلومینیوم ایران
۳/۴۶	۰/۱۷	۰/۱۱	۲/۸۶	۶/۰۲	۱/۴۵	ک. شهید قندی	۲/۴۹	۰/۲۱	۰/۱۶	۴/۲۵	۴/۹۷	۱/۲۷	مس شهید باهنر
۲/۴۴	۰/۲۷	۰/۰۷	۲/۲۲	۱۵/۰۵	۱/۵۶	الکترونیک خودرو	۳/۴۴	۰/۰۵	۰/۰۲	۱/۹۴	۲۸/۴۲	۱/۱۷	فول و ماشین سازی
۲/۹۱	۰/۳۲	۰/۱۸	۱/۴۵	۴/۷۲	۱/۱۸	سیمان تهران	۳/۰۳	۰/۳۷	۰/۱۲	۱/۳۵	۷/۸۷	۱/۰۴	کاشی تکسرام
۲/۸۹	۰/۶۲	۱/۳۵	۲/۷۵	۵/۴۵	۳/۸۴	نفت بهران	۳/۱۵	۰/۴۰	۰/۰۲	۲/۵۲	۵/۸۴	۱/۶۴	لیزینگ ایران

جدول ۴ نتایج حل مدل (BCC_{C-O})

t_2	t_1	s_4	s_3	s_2	s_1	θ	DMU	t_2	t_1	s_4	s_3	s_2	s_1	θ	DMU
۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۱/۰۰	رایان سایپا	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۱/۰۰	افست
۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۷/۶۳	۰/۰۰	۱/۳۴	کرین ایران	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۷۸	۰/۱۸	۱/۱۶	البرز دارو
۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۱/۰۰	پتروشیمی فناوران	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۱/۰۰	ایران ترانسفور
۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۸/۸۷	۰/۰۰	۰/۰۰	۱/۲۶	بانک صادرات	۱/۰۹	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۱۲	۰/۱۳	۰/۲۲	۱/۰۴	ایران خودرو
۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۱/۰۰	بانک ملت	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۴۳	۰/۸۴	۱/۸۲	ایران دارو
۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۱/۰۰	بانک تجارت	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۱/۰۰	ایرکا پارت
۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۱۶/۵۴	۰/۰۰	۰/۰۰	۱/۲۳	بانک پارسیان	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۱/۰۰	کاما
۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۴/۵۴	۰/۰۰	۰/۰۰	۱/۱۲	بانک کارآفرین	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۲۴/۴۲	۰/۹۱	۱/۰۳	بیسکویت گرجی
۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۱/۰۰	بانک اقتصاد نوین	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۴۱	۰/۶۹	۰/۰۰	۳/۴۴	۱/۱۰	پارس دارو
۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۱/۰۰	مخابرات ایران	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۱/۴۳	۰/۰۷	۱/۰۶	پتروشیمی آبادان
۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۳/۱۲	۰/۰۰	۱/۵۴	حمل و نقل توکا	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۱/۰۰	پتروشیمی فارابی
۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۱/۰۰	آبسال	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۱/۰۰	تایدواتر خاورمیانه
۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۵/۸۹	۰/۲۵	۱/۳۴	سرما آفرین	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۲۶/۳۲	۰/۱۶	۱/۱۸	چرخشگر
۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۲۱	۰/۰۰	۶/۷۸	۰/۰۰	۱/۴۵	کاشی سعیدی	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۱/۰۰	خاک چینی
۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۱۳	۱/۲۴	۱۴/۴۵	۰/۰۰	۱/۳۱	چینی ایران	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۱/۱۲	۳/۷۵	۴/۶۵	۱/۲۳	دارو ابوریحان
۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۴/۵۸	۰/۲۶	۱/۲۸	صنایع آذرآب	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۱/۱۷	۱/۴۲	۱/۰۶	داروسازی اسوه
۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۱۴/۳۹	۰/۰۰	۱/۰۶	س. صنعت نفت	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۱/۰۰	داروسازی امین
۰/۰۰	۰/۰۹	۰/۱۷	۴/۵۲	۱۵/۲۳	۱/۶۴	۱/۱۵	لینیات پاک	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۱/۰۰	داروسازی حیان
۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۱/۳۵	۰/۱۷	۱/۱۹	حفاری شمال	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۷۶	۴/۶۸	۲/۵۴	۱/۲۳	داروسازی رازک
۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۱/۰۰	س.گ. ایران خودرو	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۱۲	۰/۵۲	۰/۰۰	۰/۰۰	۱/۱۳	تراکتورسازی
۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۱/۰۰	س.گ. سایپا	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۴۵/۰۷	۰/۱۴	۱/۳۲	زامیاد
۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۳۷/۸۹	۳۴/۵۲	۱/۴۳	۱/۳۶	پارس خودرو	۰/۰۰	۰/۰۶	۰/۰۰	۱/۲۵	۹۱/۴۵	۰/۵۸	۱/۲۴	سایپا
۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۱/۰۰	گروه بهمن	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۱/۰۰	سیمان داراب
۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۱/۰۰	فولاد خوزستان	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۸	۱/۱۷	سیمان شاهرود
۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۱/۰۰	فولاد اصفهان	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۱۴	۰/۰۰	۰/۱۵	۰/۰۰	۱/۱۳	سیمان شمال
۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۱/۰۰	ص. معدنی گلگهر	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۱/۰۰	گروه صنعتی بارز
۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۱۹	۰/۰۰	۲/۴۱	۰/۵۴	۱/۳۸	شیشه و گاز	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۱/۰۰	کالسیمین
۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۱/۰۰	فراورد نسوز ایران	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۱/۰۰	نورد آلومینیوم
۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۱/۰۰	پتروشیمی شازند	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۱/۰۰	صنایع مس ایران
۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۱/۰۰	ت. صنایع بهشهر	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۴۳	۲/۵۰	۰/۰۰	۱/۱۶	۱/۰۵	آلومینیوم ایران
۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۱/۰۰	ک. شهید قندی	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۱۴	۰/۰۰	۰/۰۰	۱/۱۸	مس شهید باهنر
۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۱۰/۴۷	۰/۰۰	۱/۳۶	الکترونیک خودرو	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۱/۰۰	پوله و ماشین سازی
۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۲۶	۰/۰۰	۰/۰۰	۱/۲۸	سیمان تهران	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۱/۰۰	کاشی تکسرام
۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۱/۸۹	۰/۳۹	۰/۵۷	۱/۲۹	نفت بهران	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۱/۰۰	لیزیگ ایران

جدول ۵ نتایج محاسباتی در حل مدل CCMV با استفاده از رویکردهای فراابتکاری

بازار سرمایه/تعداد سهام	معیارهای ارزیابی	بهینه‌سازی ازدحام ذرات (PSO)	الگوریتم ژنتیک (GA)	الگوریتم جستجوی ارگانسیم‌های هم‌زیست (SOS)
بورس اوراق بهادار تهران/۳۴	بهینگی تابع هدف	-۰/۲۵۷۳	-۰/۲۶۴۲	-۰/۲۷۱۴
	میانگین درصد خطا ^۱	%۰/۳۹۶۷	%۰/۲۶۸۴	%۰/۱۵۹۳
	تعداد تکرار تاهمگرایی	۸۱	۹۲	۶۳
	زمان محاسبات (ثانیه)	۸/۶۵	۶/۰۲	۱۱/۱۷

پس از اجرای الگوریتم‌های فراابتکاری بر مجموعه سهم‌های کارا و در نظر گرفتن $\lambda = 0.5$ سبب سهام بهینه را تشکیل دادیم که نتایج آن در جداول ۶ تا ۸ آورده شده است.

جدول ۶ سبب سهام بهینه با استفاده از الگوریتم بهینه‌سازی ازدحام ذرات (PSO)

مخابرات ایران	بانک اقتصاد نوین	لوله و ماشین‌سازی	نورد آلومینیوم	تایدواتر خاورمیانه	پتروشیمی فارابی	کاما	ایرکاپارت	ایران ترانسفور	اقست	تابع هدف	
										ریسک سبب	بازده سبب
-۰/۰۱۰۰	-۰/۲۶۴۳	-۰/۰۱۰۰	-۰/۱۷۶۴	-۰/۰۱۰۰	-۰/۰۱۰۰	-۰/۴۹۱۳	-۰/۰۱۰۰	-۰/۰۱۰۰	-۰/۰۱۰۰	۰/۳۶۱۴	-۰/۱۱۰۸

جدول ۷ سبب سهام بهینه با استفاده از الگوریتم ژنتیک (GA)

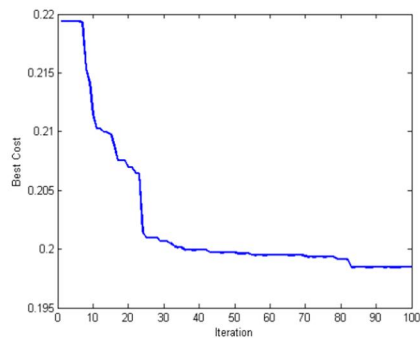
گروه بهمن	بانک اقتصاد نوین	لوله و ماشین‌سازی	نورد آلومینیوم	گروه صنعتی بارز	تایدواتر خاورمیانه	کاما	ایرکاپارت	ایران ترانسفور	اقست	تابع هدف	
										ریسک سبب	بازده سبب
-۰/۰۲۲۳	-۰/۱۱۵۹	-۰/۰۳۸۶	-۰/۰۳۹۶	-۰/۰۲۷۶	-۰/۰۷۲۱	-۰/۲۹۷۵	-۰/۱۸۵۴	-۰/۱۲۰۳	-۰/۰۸۷۴	۰/۳۷۲۶	-۰/۱۱۰۸

1. Mean Percentage Error (MPE)

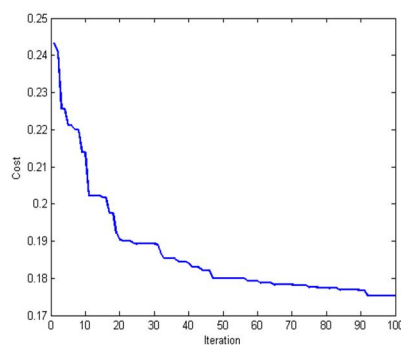
جدول ۸ سبد سهام بهینه با استفاده از الگوریتم جستجوی ارگانسیم‌های همزیست (SOS)

تابع هدف	افسنت	ایران ترانسفور	پتروشیمی فارابی	خاک چینی	ملی مس ایران	کاشی سازی تکسرام	لیرینگ رایان سایپا	پتروشیمی فناوران	داروسازی جیان	فولاد خوزستان	تابع هدف	
											ریسک سبد	بازده سبد
											۰/۳۸۱۵	۰/۱۱۰۸

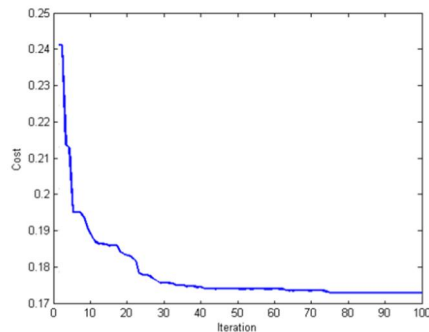
همچنین برای تحلیل بهتر نتایج، روند همگرایی به جواب بهینه برای هر سه رویکرد مذکور در قالب شکل‌های ۵، ۶ و ۷ آورده شده است:



شکل ۵ روند همگرایی در بهینه‌سازی ازدحام ذرات (PSO)



شکل ۶ روند همگرایی در الگوریتم ژنتیک (GA)



شکل ۷ روند همگرایی در الگوریتم جستجوی ارگانسیم‌های همزیست (SOS)

با توجه به شکل‌های ۵، ۶ و ۷ مشاهده می‌شود که نرخ تنزیل جواب اولیه در الگوریتم جستجوی ارگانسیم‌های همزیست نسبت به دو رویکرد دیگر به مراتب بیشتر بوده و لذا می‌تواند در تعداد تکرارهای کمتری به جواب بهینه مسئله دست یابد. همچنین با توجه به نتایج مشاهده شده در سطح معینی از ریسک، می‌توان اذعان نمود که الگوریتم جستجوی ارگانسیم‌های همزیست دارای بازدهی بالاتری نسبت به دو رویکرد دیگر خواهد بود. علاوه بر آن از دیگر امتیازات این الگوریتم نسبت به دو رویکرد دیگر می‌توان به عدم نیاز آن به مرحله تنظیم مولفه اشاره نمود و اینکه تنها مؤلفه دریافتی از کاربر، صرفاً تعداد تکرارهای لازم تا توقف الگوریتم است؛ این مهم با توجه به آنکه بخش قابل توجهی از زمان در دیگر رویکردهای فراابتکاری صرف این مرحله می‌شود، بسیار حائز اهمیت است.

۵- نتیجه‌گیری

در این مطالعه، تلاش بر آن بوده است که با شناسایی عوامل مؤثر بر تصمیم‌گیری و با استفاده از روش تحلیل پوششی داده‌ها، سهم‌های کارا و مطلوب از میان شرکت‌های پذیرفته شده در بورس اوراق بهادار تهران شناسایی و پس از آن با در نظر گرفتن مفروضات دنیای واقعی همچون محدودیت کاردینالیته و با بهره‌گیری از الگوریتم جستجوی ارگانسیم‌های همزیست سبد سهام بهینه از میان سهم‌های کارا تشکیل شود. در این میان به منظور اثبات کارایی رویکرد ارائه شده، از داده‌های متعلق

به ۶۸ شرکت پذیرفته شده در سازمان بورس اوراق بهادار تهران که در حفاصل فروردین ماه ۱۳۹۰ تا اسفندماه ۱۳۹۵ اخذ و تحلیل شده‌اند، استفاده شد. در ادامه، نتایج به دست آمده با دو رویکرد شناخته شده فراابتکاری در حل مسائل بهینه‌سازی سبد سهام با نام‌های الگوریتم ژنتیک و بهینه‌سازی ازدحام ذرات مقایسه شد که نتایج آن مبین کارایی و عملکرد مناسب الگوریتم جستجوی ارگانیسم‌های همزیست در بهینه‌سازی سبد سهام است. در پایان و به‌عنوان پیشنهاد جهت تحقیقات آتی، گفتنی است که با افزودن دیگر محدودیت‌های دنیای واقعی، همچون میزان نقدشوندگی سبد سهام و هزینه‌های مترتب بر معامله، می‌توان مدل میانگین-واریانس مارکوئیتز را جامع‌تر نموده و در راستای نزدیکی هرچه بیشتر به شرایط واقعی بازار گام برداشت.

۶- منابع

- [1] Markowitz, H. (1952) "Portfolio Selection," *The journal of finance*, vol. 7, pp. 77-91.
- [2] Sharpe, W. F. (1963) "A Simplified Model for Portfolio Analysis," *Management Science*, vol. 9, pp. 277-293.
- [3] Farrell, M. J. (1957) "The Measurement of Productive Efficiency," *Journal of the Royal Statistical Society. Series A (General)*, vol. 120, pp. 253-290.
- [4] Charnes, A., Cooper, W. W., and Rhodes, E. (1978) "Measuring the Efficiency of Decision Making Units," *European Journal of Operational Research*, vol. 2, pp. 429-444.
- [5] Powers, J., and McMullen, P. (2000) "Using Data Envelopment Analysis to Select Efficient Large Market Cap Securities," *Journal of Business and Management*, vol. 7, pp. 31-42.
- [6] Edirisinghe, N., and Zhang, X. (2007) "Generalized DEA Model of Fundamental Analysis and its Application to Portfolio Optimization," *Journal of Banking & Finance*, vol. 31, pp. 3311-3335.

- [7] Lopes, A., Lanzer, E., Lima, M., and da Costa Jr, N. (2008) "DEA Investment Strategy in the Brazilian Stock Market," *Economics Bulletin*, vol. 13, pp. 1-10.
- [8] Alinezhad, A., Zohrebandian, M., and Dehdar, F. (2010) "Portfolio Selection Using Data Envelopment Analysis with Common Weights," *Iranian Journal of Optimization*, vol. 2, pp. 323-333.
- [9] Khajavi, Sh., Salimifard, A.R., and Rabie, M. (2005) " Application of Data Envelopment Analysis (DEA) in Determining the Most Efficient Portfolio of Companies Listed in the Tehran Stock Exchange," *Journal of Humanities and Social Sciences*, vol. 22, pp. 75-89. (in Persian)
- [10] Afshar Kazemi, M.A., Khalili Araghi, M., and Sadat Kiyayi, A. (2012) "Stock Selection of Tehran Stock Exchange Investors with Hybrid of Data Envelopment Analysis (DEA) and Goal Programming (GP)," *Financial Knowledge of Securities Analysis*, vol. 13, pp. 49-63. (in Persian)
- [11] Goodarzi, M., Yakideh, k., and Mahfoozi, G. (2016) "Portfolio Optimization by Combining Data Envelopment Analysis and Decision-Making Hurwicz Method," *Modern Research in Decision Making*, vol. 1, pp. 143-165. (in Persian)
- [12] Azar, A., Khosravani, F., and Jalali, R. (2013) "The Application of DEA in Selecting a Portfolio Consisting of the Most Efficient and the Most Inefficient Companies Now Present in Tehran Stock Market," *Management Researches in Iran*, vol. 17, pp. 1-19. (in Persian)
- [13] Sadjadi, S. J., Gharakhani, M., and Safari, E. (2012) "Robust Optimization Framework for Cardinality Constrained Portfolio Problem," *Applied Soft Computing*, vol. 12, pp. 91-99.
- [14] Deng, G.-F., Lin, W.-T., and Lo, C.-C. (2012) "Markowitz-Based Portfolio Selection with Cardinality Constraints Using Improved Particle Swarm Optimization," *Expert Systems with Applications*, vol. 39, pp. 4558-4566.

- [15] Najafi, A. A., and Mushakhian, S. (2015) "Multi-Stage Stochastic Mean–Semivariance–CVaR Portfolio Optimization Under Transaction Costs," *Applied Mathematics and Computation*, vol. 256, pp. 445-458.
- [16] Afsar, A., and Helyel, F. (2017) " A Hybrid Approach to Portfolio Optimization Using Technical Analysis and Data Mining," *Modern Research in Decision Making*, vol. 2, pp. 1-22 .(in Persian).
- [17] Kiyani, M., Nabavi, S.A., and Memarian, E. (2015) " Optimizing Stock Portfolio with Regard to Minimum Level of Total Risk Using Genetic Algorithm," *Journal of Investment Knowledge*, vol. 3, pp. 125-164 .(in Persian)
- [18] Cheng, M.-Y., and Prayogo, D. (2014) "Symbiotic Organisms Search: A new Metaheuristic Optimization Algorithm," *Computers & Structures*, vol. 139, pp. 98-112.
- [19] Jahanshahloo, G.R., Hosseinzadeh Lotfi, F., and Nikoomaram, H. (2010) " Data Envelopment Analysis and Its Applications," *Islamic Azad University Publication* .(in Persian)
- [20] Peykani, P., and Roghanian, E. (2015) "Using Data Envelopment Analysis and Robust Optimization in the Selection of Portfolio," *Journal of Operational Research In Its Applications (Applied Mathematics) - Lahijan Azad University*, vol. 44, pp. 61-78 .(in Persian)
- [21] Mehregan, M.R. (2012) " DEA: Quantitative Models in Evaluating the Performance of Organizations," *Nashre Ketabe Daneshgahi* .(in Persian)
- [22] Zhu, J. (2014) *Quantitative Models for Performance Evaluation and Benchmarking: Data Envelopment Analysis with Spreadsheets* vol. 213: Springer.
- [23] Beale, E. and Forrest, J. J. (1976) "Global Optimization Using Special Ordered Sets," *Mathematical Programming*, vol. 10, pp. 52-69.
- [24] Fernández, A., and Gómez, S. (2007) "Portfolio Selection Using Neural Networks," *Computers & Operations Research* ,vol. 34, pp. 1177-1191.

- [25] Holland, J. H. (1975) *Adaptation in Natural and Artificial Systems: an Introductory Analysis with Applications to Biology, Control, and Artificial Intelligence*: U Michigan Press.
- [26] Eberhart, R. C., and Kennedy, J. (1995) "A New Optimizer Using Particle Swarm Theory," in *Proceedings of the Sixth International Symposium on Micro Machine and Human Science*, pp. 39-43.