مدیریت صنعتی
دانشکده مدیریت دانشگاه تهران
دوره ۵، شماره ۱
بهار و تابستان ۱۳۹۲
صص ۲۰-۱

بهینه‌سازی سبد پروژه‌های با اثر متقابل با استفاده از الگوریتم رقابت استعماری (ICA)

محمدحسین پورکاظمی[۱]، مصطفی فتاحی[۲]، ساسان مظاهری[۳]، بهرنگ اسدی[۴]

چکیده: بهینه‌سازی سبد پروژه سازمانی به‌دلیل پیچیدگی ارزیابی پروژه‌ها و همچنین محدودیت منابع همواره با چالش‌های تصمیم‌گیری متعددی روبرو است. مطالعات بسیاری برای ارائه و بررسی عملکرد مدل‌ها و الگوریتم‌های بهینه‌سازی سبد پروژه انجام شده است. با این وجود لحاظ اثرات متقابل بین پروژه‌ها در بسیاری از این پژوهش‌ها مغفول مانده است. اگرچه لحاظ کردن اثرات متقابل بین پروژه‌ها باعث پیچیدگی مضاعف مسئله انتخاب سبد پروژه می‌شود، صرف نظرکردن از محاسبه این اثرات ممکن است کارایی فرآیند تصمیم‌گیری و مطلوبیت سبد پایانی پروژه را به‌شدت تحت تأثیر قراردهد. در این مقاله ابتدا فرمولاسیون مسئله انتخاب سبد پروژه با درنظر گرفتن اثرات متقابل بین پروژه ها انجام شده است. سپس مسئله انتخاب سبد پروژه با درنظر گرفتن اثرات متقابل پروژه‌ها با استفاده از الگوریتم‌های بهینه‌سازی ICA بررسی شده است. لحاظ کردن اثرات متقابل در انتخاب سبد نهایی و برازندگی آن را تحت تأثیرات قابل‌توجه بالایی قرار می‌دهد. نتایج حاصل نشان می‌دهد که روش ICA نسبت‌به روش الگوریتم‌های GA، PSO و CPSO که پیش از این در این‌گونه مسائل به‌کار رفته است برتری دارد.

واژه‌های کلیدی: بهینه‌سازی سبد پروژه، اثر متقابل پروژه‌ها، الگوریتم رقابت استعماری، محدودیت منابع.

۱. دانشیار گروه اقتصاد، دانشکده اقتصاد و علوم سیاسی دانشگاه شهیدبهشتی، ایران
۲. دانشجوی دکترای مدیریت تحقیق در عملیات، دانشکده مدیریت دانشگاه تهران، ایران
۳. دانشجوی کارشناسی ارشد مدیریت صنعتی، دانشکده مدیریت و حسابداری دانشگاه شهیدبهشتی، ایران
۴. دانشجوی کارشناسی ارشد MBA، ، دانشکده مدیریت و اقتصاد دانشگاه صنعتی شریف، ایران

تاریخ دریافت مقاله: ۱۳۹۱/۰۸/۳۰
تاریخ پذیرش نهایی مقاله: ۱۳۹۱/۱۲/۱۵
نویسنده مسئول مقاله: مصطفی فتاحی
E-mail: fattahi.mostafa@ut.ac.ir

مقدمه

مدیریت سبد پروژه یکی از جدیدترین روش هایی است که در مدیریت پروژه‌ها در تجارت و کسب‌وکار امروزی استفاده می‌شود. مدیریت سبد پروژه روشی مطمئن است که شرکت‌ها به‌کار می‌بندند تا منابع کمیاب خود را با بیشترین ارزش خروجی ممکن به‌کار گیرند و باعث حرکت سازمان به سمت تعالی شوند. این رویکرد برگرفته از دانش مدیریت پروژه است با این مضمون که در این سیستم، مدیریت بر ترکیبی از پروژه‌ها با اهداف و شرایط خاص منظور می‌شود و سطحی بالاتر از مدیریت پروژه در سازمان تلقی می‌شود. به مجموعه‌ای از پروژه‌ها که در یک واحد اقتصادی و تحت اهداف استراتژیک یکسان و منابع مشترک که در حال ادامه فعالیت هستند یک سبد پروژه گفته می‌شود. مقدار منابع مالی پروژه‌ها بیشتر کاملاً محدود است و پروژه‌ها تحت مدیریت یکسان برای جذب این منابع محدود و کمیاب با یکدیگر رقابت می‌کنند (آلتو،۲۰۰۰). اجزای یک سبد باید قابلیت کمی شدن یعنی قابل‌اندازه‌گیری، رتبه‌بندی و اولویت‌بندی باشند. نکته قابل توجه درمورد سبد پروژه‌ها این است که اجزای آن (پروژه‌ها) لزوماً نباید به یکدیگر وابسته و لزوماً به هم مرتبط باشند. در واقع سبد نمایانگر مجموعه‌ای از پروژه‌ها در سازمان در یک مقطع خاص زمانی است که بر اهداف استراتژیک سازمان تأثیر می‌گذارند و متقابلاً از آن هم تأثیر می‌پذیرند (بلیچفلد و همکاران، ۲۰۰۸). با توجه به محدودیت منابع مالی و سرمایه‌ای سازمان، اولویت‌بندی علمی پروژه‌ها به جای اولویت‌بندی شهودی اقدامی مؤثر و ضروری در پیشبرد اهداف استراتژیک سازمان به‌شمار می‌آید. در این میان تصمیم‌گیری درباره‌ی انتخاب پروژه‌ها و تعیین اولویت نسبی هر کدام از اهمیت ویژه برخوردار است. فنون زیادی برای ارزیابی و انتخاب سبد پروژه‌ها وجود دارد. بعضی از این فنون به‌صورت عام و گسترده به‌کار گرفته نشده‌اند (قاسم‌زاده و همکاران، ۱۹۹۹)، برای پاسخ به مسئله انتخاب پروژه‌ها عمدتاً روش‌های مورداستفاده در دو گروه قابل‌دسته‌بندی هستند. نخست، روش‌هایی براساس معیارهای کیفی و برمبنای نظرات گروهی از کارشناسان و غالباً در موضوعات اجتماعی به‌کار گرفته شده‌اند. گروه دوم شامل روش‌های تصمیم‌گیری با مبنای تحقیق در عملیات می‌شود که می‌توان آنها را به دو دسته مدل‌های تصمیم‌گیری چندهدفه و مدل‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره تقسیم کرد. از میان روش‌های دسته اخیر، قربانی و ربانی (۲۰۰۹) و رفیعی و ربانی (۲۰۰۹)، به‌ترتیب نمونه‌هایی از به‌کارگیری مدل‌های تصمیم‌گیری چندهدفه و مدل‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره در انتخاب پروژه‌ها هستند. یکی از مدل‌های پرکاربرد در این زمینه، مدل عدد صحیح مختلط است که علت استفاده عمده از این مدل وجود متغیرهای صفر و یک در انتخاب پروژه‌هاست. نمونه‌هایی از این مدل در مسئله انتخاب پروژه در مقالات پسینجر (۲۰۰۱)، بوجون و همکاران (۲۰۰۱) یافت

می‌شود. مفهوم مورد استفاده در مدل‌های یادشده در مواردی در کنار برنامه‌ریزی آرمانی صفر و یک را پیشنهاد داده است که از بین آنها می‌توان به کارهای بدری و دیویس (۲۰۰۱) و فاندل و گال (۲۰۰۱) اشاره کرد. دسته قابل‌ذکر دیگر در پژوهش‌های مرتبط با مسئله انتخاب پروژه، مجموعه روش‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره به‌کار گرفته‌شده در این زمینه است که توان بالایی در استفاده از معیارهای کیفی در تصمیم‌گیری دارند. مقالات گوستافسون و همکاران (۲۰۰۴)، ماوروتاس و همکاران (۲۰۰۶) و هالوآنی و همکاران (۲۰۰۷)، نمونه‌هایی از به‌کارگیری روش‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره در مسئله انتخاب پروژه هستند. طبق تحلیل‌هایی که در بالا انجام شد، مشهود است که رویکردهای موجود انتخاب سبد پروژه نتوانسته‌اند اثر متقابل بین پروژه‌ها برحسب معیارهای انتخاب متفاوت را لحاظ کنند. همچنین آنها الویت تصمیم‌گیرندگان در اهمیت معیارهای انتخاب را درنظر نگرفته‌اند. در شرایط واقعی در مسئله انتخاب سبد پروژه اگر پروژه‌ای که با پروژه‌های دیگر اثرات متقابل دارد انتخاب شود، ممکن است اثر مثبت یا منفی متقابل بر معیار انتخاب خاصی داشته باشد. اگر تأثیرات تعاملی بین پروژه‌ها لحاظ نشود ممکن فرآیند تصمیم‌گیری نتایج پایانی دلخواه را حاصل نکنند (کارسون و فولر، ۱۹۹۵). تأثیر متقابل نوعی کنش است که بین دو یا چند شیء که بر یکدیگر تأثیر می‌گذارند به وقوع می‌پیوندد و می‌توان آن را با برخی روش‌های آماری مثل تحلیل واریانس[1] (ANOVA) اندازه‌گیری کرد (بویسون و همکاران، ۲۰۰۶). همچنین از آنجایی که نتایج مسئله برنامه‌ریزی خطی عدد صحیح چندهدفه[2] (MOILP) از بررسی تمامی سبدهای ممکن حاصل می‌شود، اگر تأثیر متقابل بین پروژه‌ها لحاظ شود، این روش فقط برای مسائلی که حداکثر سی پروژه را شامل شود قابل‌کاربرد است. اگر تعداد پروژه ها از سی فراتر رود، حجم محاسبات به‌قدری زیاد می‌شود که عملاً حل مدل غیرممکن می‌شود. به‌همین دلیل چنین روش‌های انتخاب سبد پروژه به‌ویژه در تصمیم‌گیری عمومی بسیار مورد انتقاد قرار گرفته‌اند (تالیاس، ۲۰۰۷).

فرموله کردن مسئله انتخاب سبد پروژه با درنظر گرفتن اثرات متقابل

در انتخاب سبد پروژه، تصمیم‌گیرنده اغلب با مشکل انتخاب زیرمجموعه‌ای کوچک از پروژه‌ها از مجموعه‌ای بزرگ‌تر از پروژه برمبنای معیارهای انتخاب مواجه است. این فرآیند تحت‌عنوان تصمیم‌گیری چندمعیاره (MCDM) شناخته می‌شود (لیزیو و همکاران، ۲۰۰۷). عموماً دو نوع مسائل تصمیم‌گیری چندمعیاره (MCDM) وجود دارد؛ مسئله تصمیم‌گیری چندشاخصه[3]

1. Analysis of variance
2. Multi-objective integer linear programming
3. Multi-attribute decision making

(MADM) و مسئله تصمیم‌گیری چندهدفه[1] (MODM). معمولا مسئله تصمیم‌گیری چندشاخصه (MADM) را می‌توان توسط نظریه مطلوبیت چندشاخصه[2] (MAUT) حل کرد؛ درحالی‌که برای حل مسئله تصمیم‌گیری چندهدفه (MODM) می‌توان از برنامه‌ریزی ریاضی چندهدفه (MOMP) مثل برنامه‌ریزی پویا (کاراوی و اشمیت، ۱۹۹۱) و برنامه‌ریزی کواردتیک استفاده کرد (پنگ و همکاران، ۲۰۰۸). طبق این دسته‌بندی، انتخاب سبد پروژه چندمعیاره را می‌توانیم در زمره مسائل تصمیم‌گیری چندشاخصه برحسب ویژگی‌های سبد پروژه قراردهیم. همچنین می‌توان از نظریه مطلوبیت چندشاخصه (MAUT) برای حل مسئله انتخاب سبد پروژه چندمعیاره استفاده کرد. در راستای این مقصود، مسئله انتخاب سبد پروژه چندمعیاره در زیر ارائه می‌شود. فرض کنید به تعداد I پرژه وجود دارد که باید ارزیابی و انتخاب شوند و x_i نشانگر متغیرهای تصمیم هستند. اگر پروژه $a_i \ (i=1,2,3,...,I)$ در سبد قرار گیرد آنگاه $x_i=1$ خواهد بود وگرنه $x_i=0$ می‌شود. بنابراین، سبد پروژه را می‌توانیم این‌گونه نمایش دهیم؛ $x=(x_1,x_2,...,x_I)$. w_j را میزان ترجیح تصمیم‌گیرندگان به معیار $j \ (j=1,2,3,...,J)$ که برای ارزیابی پروژه $a_i \ (i=1,2,3,...,I)$ مورداستفاده می‌گیرد درنظر می‌گیریم. C_{ij} را نیز ارزش پروژه a_i نسبت‌به معیار j قرار می‌دهیم. اگر هیچ اثر متقابلی بین پروژه‌ها وجود نداشته باشد، می‌توانیم مدل انتخاب سبد پروژه را با استفاده از روش تجمعی چندشاخصه استاندارد برمبنای نظریه مطلوبیت چندشاخصه (MAUT) به‌شکل زیر نمایش دهیم:

رابطه (۱)

$$MaxV=\sum_{i=1}^{I}(\sum_{j=1}^{J}w_j c_{ij})x_i$$
$$s.t.\ \sum x_i = M$$
$$x_i=\{0,1\}$$

که در این فرمول V نشان‌دهنده ارزش مطلوبیت کل (یا تأثیر کل) زیرمجموعه انتخاب‌شده پروژه‌ها و M بیانگر تعداد پروژه‌های انتخاب‌شده برحسب مجموعه‌ای از معیارهای گزینش است. در مدل انتخاب سبد پروژه‌ای که در بالا نشان داده شده است، پروژه‌ها مستقل فرض شده‌اند؛ به‌بیان دیگر، هیچ اثر متقابلی بین پروژه‌ها وجود ندارد. اما در دنیای واقعی اثرات متقابلی بین پروژه‌ها برحسب معیارهای گزینش متفاوت وجود دارد. همچنین، همان‌گونه که کارسون و فیولر (۱۹۹۵) بیان می‌کنند، لحاظ نکردن اثرات متقابل بین پروژه‌ها ممکن است منجربه نتایج نامطلوب شود. بنابراین، نتایج حاصل از رابطه (۱) ممکن است ناکارآمد باشد و از این‌رو اثر متقابل

1. Multi-objective decision making
2. Multi-attribute utility theory

بین پروژه‌ها باید در مدل‌سازی تصمیم لحاظ شود. برای تسهیل مدل‌سازی اجازه دهید $d_j(S_k)$ را مقدار تأثیرهای متقابل در ترکیب k پروژه برحسب معیار گزینش j و همچنین $S_k\,(k=1,2,3,...,K)$ را به‌عنوان ترکیب k پروژه درنظر بگیریم. بر این اساس مسئله انتخاب سبد پروژه چندمعیاره با درنظر گرفتن اثرات متقابل پروژه‌ها برحسب معیارهای انتخاب چندگانه را می‌توان به‌صورت زیر فرموله کرد:

$$MaxV=\sum_{i=1}^{I}(\sum_{j=1}^{J}w_j c_{ij})x_i+\sum_{j=1}^{J}\sum_{k=1}^{K}\left(w_j(d_j(S_k))(\sum_{i=1}^{L}c_{ij})\right)\prod_{i=1}^{L}x_i \qquad \text{رابطه (۲)}$$
$$s.t.\ \sum x_i=M$$
$$x_i=\{0,1\}$$

که در آن L تعداد متغیرهای با اثر متقابل است. مجموع اول در تابع هدف رابطه (۲)، مجموع تأثیرهای منفرد همه پروژه‌های منفرد a_i است که مشابه تابع هدف رابطه (۱) است و مجموع دوم در تابع هدف رابطه (۲) با اثرهای متقابل پروژه‌های مختلف مرتبط است. اثر متقابل $d_j(S_k)$ را می‌توان به‌منزله‌ی تاثیرات افزوده چنانچه سبد پروژه x شامل ترکیبی از حداقل k پروژه باشد، درنظرگرفت. در مسئله انتخاب سبد پروژه که در رابطه (۲) نمایش داده شده است، به‌وضوح مشخص است که مدل انتخاب سبد پروژه چندمعیاره با لحاظ کردن اثرهای متقابل پروژه و الویت‌های تصمیم‌گیرنده، یک مسئله نوعی برنامه‌ریزی عدد صحیح غیرخطی صفر و یک چندمعیاره است. در عین حال یک مسئله نوعی بهینه‌سازی شبه بولی[1] (PBO) نیز است (مداگلیا و همکاران، ۲۰۰۷). به‌طور واضحی مشخص است که فرآیند تصمیم‌گیری که دربرگیرنده اثرات متقابل پروژه‌ها و الویت‌های تصمیم‌گیرنده باشد بسیار پیچیده‌تر از سبد پروژه‌های مستقل بدون اثرات متقابل است. برای حل مسئله برنامه‌ریزی عدد صحیح غیرخطی رابطه (۲)، روش‌های بسیاری مثل الگوریتم انشعاب و تحدید[2] (BBA) و روش برنامه‌ریزی پویا[3] (DP) ارائه شده است (هامر و رودینو، ۱۹۶۸). فرآیند محاسبات چنین روش‌هایی به‌ویژه وقتی که بخواهیم تعداد زیادی از پروژه‌ها را ارزیابی کرده، سبد بهینه را انتخاب کنیم اغلب بسیار پیچیده است. به‌همین دلیل در این پژوهش برای حل مسئله برنامه‌ریزی عدد صحیح غیرخطی از روش بهینه‌سازی رقابت استعماری (ICA) که در بخش بعدی به تفصیل بیان می‌شود استفاده شده

1. Pseudo Boolean optimization
2. Bound and branch algorithm
3. Dynamic programming

است. گفتنی است، اگر اثرات متقابل بین پروژه‌ها لحاظ نشود، مسئله برنامه‌ریزی عدد صحیح غیرخطی[1] (NIP) صفر و یک مدل (۲) به یک مسئله برنامه‌ریزی عدد صحیح (IP) صفر و یک استاندارد تبدیل‌می‌شود (همان‌گونه که در مدل (۱) نشان داده شده است) که می‌توان آن را به سادگی توسط الگوریتم برنامه‌ریزی عدد صحیح باینری[2] (BIP) استاندارد حل کرد. در واقع مسئله برنامه‌ریزی عدد صحیح غیرخطی صفر و یک رابطه (۲)، شکل عمومی مسئله برنامه‌ریزی عدد صحیح صفر و یک رابطه (۱) است. به‌بیان دیگر، مسئله برنامه‌ریزی عدد صحیح صفر و یک، حالتی خاص از مسئله برنامه‌ریزی عدد صحیح غیرخطی صفر و یک است.

الگوریتم رقابت استعماری

مسئله بهینه‌سازی عمومی تقریباً در هر زمینه‌ای از علم، مهندسی و تجارت وجود دارد. تاکنون تلاش‌های بسیار زیادی برای حل مسائل بهینه‌سازی عمومی صورت گرفته است. چالش اصلی مسئله بهینه‌سازی عمومی این است که مسائلی که بهینه می‌شوند ممکن است، بهینه‌های محلی زیادی داشته باشند. تاکنون الگوریتم‌های تکاملی بسیاری برای حل مسئله بهینه‌سازی عمومی ارائه شده‌اند. در الگوریتم‌های تکاملی که تا کنون ارائه شده‌اند با مدل کردن فرآیند تکامل طبیعی، سعی در یافتن جواب بهینه برای مسئله بهینه‌سازی می‌کنند. این موضوع از طریق تکامل دادن جمعیتی از راه حل‌های کاندید، مشابه فرآیند تکامل جمعیت بیولوژیکی انجام می‌شود که می‌تواند با تغییرات محیطی سازگار شود. الگوریتم‌های تکاملی گوناگونی تاکنون برای بهینه‌سازی ارائه شده‌اند که از آن میان می‌توان به الگوریتم ژنتیک (GA) ارائه‌شده توسط هالند در سال ۱۹۶۲، الگوریتم بهینه‌سازی حرکت گروهی ذرات (PSO) معرفی‌شده توسط کندی و ابرهات در ۱۹۹۵، الگوریتم شبیه‌ازی تبرید (SA) و سایر الگوریتم‌های موجود در این زمینه اشاره کرد. اخیراً الگوریتم جدیدی با نام الگوریتم رقابت استعماری (ICA)، توسط آتشپز گرگری و لوکاس در سال ۲۰۰۷ ارائه شده است که نه از پدیده طبیعی بلکه از یک پدیده اجتماعی ـ انسانی الهام گرفته است. الگوریتم رقابت استعماری یک الگوریتم جدید در زمینه محاسبات تکاملی است که برمبنای تکامل اجتماعی- سیاسی انسان پایه‌گذاری شده است. همانند دیگر الگوریتم‌های تکاملی، این الگوریتم، نیز با تعدادی جمعیت اولیه تصادفی که هر کدام از آنها یک کشور نامیده می‌شوند، شروع می‌شود. تعدادی از بهترین عناصر به‌منزله‌ی استعمارگر انتخاب و باقیمانده جمعیت نیز به‌منزله‌ی مستعمره درنظر گرفته می‌شوند. در مسائل بهینه‌سازی با درنظر گرفتن تابع $f(x)$، سعی

1. Nonlinear integer programming
2. Binary integer programming

بر آن است تا آرگومان x به‌گونه‌ای یافته شود کـه هزینـه متنـاظر بـا آن، بهینـه باشـد (معمـولاً کمینه). در یک مسئله بهینه‌سازی N_{var} بعدی، یک کشور، یک آرایه‌ی $N_{var}\times 1$ است. این آرایـه به‌صورت زیر تعریف می‌شود.

$$country = [\, p_1, p_2, p_3, ..., p_{N_{var}} \,]$$ رابطه (۳)

هزینه یک کشور با ارزیابی تابع f به ازای متغیرهای $(p_1, p_2, p_3, ..., p_{N_{var}})$ یافته می‌شـود؛ بنابراین، داریم:

$$\cos t = f(country) = f(p_1, p_2, p_3, ..., p_{N_{var}})$$ رابطه (۴)

در الگوریتم رقابت استعماری تعداد N_{coutry} کشور اولیه ایجاد و N_{imp} تا از بهترین اعضای این جمعیت (کشورهای دارای کمترین مقدار تابع هزینه) به‌منزلـه‌ی اسـتعمارگر انتخـاب مـی‌شـوند. باقیمانده N_{col} تا از کشورها، مستعمراتی را تشکیل می‌دهند که هر کدام به یک امپراطوری تعلق دارند. کشورهای استعمارگر با اعمال سیاست جذب (همگون‌سازی) در راستای محورهای مختلف بهینه‌سازی، کشورهای مستعمره را به سمت خود می‌کشند. استعمارگران با توجـه بـه قدرتشـان، این مستعمرات را با رابطه (۱)، به سمت خود می‌کشند. قدرت کل هـر امپراطـوری، بـا محاسـبه قدرت هر دو بخش تشکیل‌دهنده آن یعنی قدرت کشور استعمارگر، به اضافه درصدی از میانگین قدرت مستعمرات آن تعیین می‌شود.

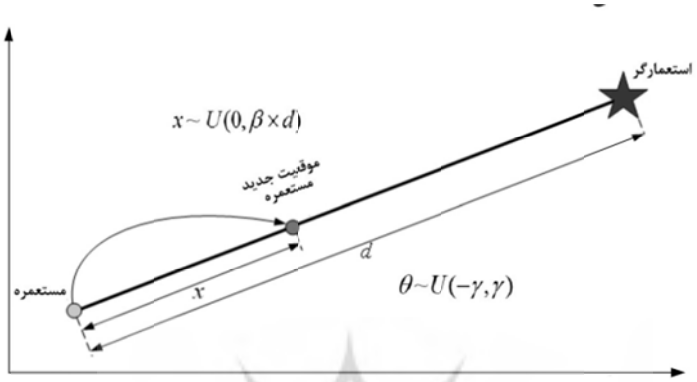
$$T.C._n = Cost(Imperialist) + \xi\, mean\{cost(colonies of empire_n)\}$$ رابطه (۵)

کشور مستعمره، به اندازه x واحد در جهت خط واصل مستعمره به استعمارگر حرکت کرده، به موقعیت جدید کشانده می‌شود. در نمودار شماره (۱) فاصله میان استعمارگر و مستعمره با d نشان داده شده است و x نیز عددی تصادفی با توزیع یکنواخت (یا هر توزیع مناسب دیگر) است؛ یعنی برای x داریم (نمودار ۱).

$$x \sim U(0, \beta \times d)$$ رابطه (۶)

که در آن β عددی بزرگ‌تر از یک و نزدیک به دو است. یک انتخاب مناسب می‌توانـد $\beta=2$ باشد. همچنین زاویه حرکت را به‌صورت توزیع یکنواخت زیر درنظر گرفته شده است.

رابطه (۷) $\theta \sim U(-\gamma,\gamma)$



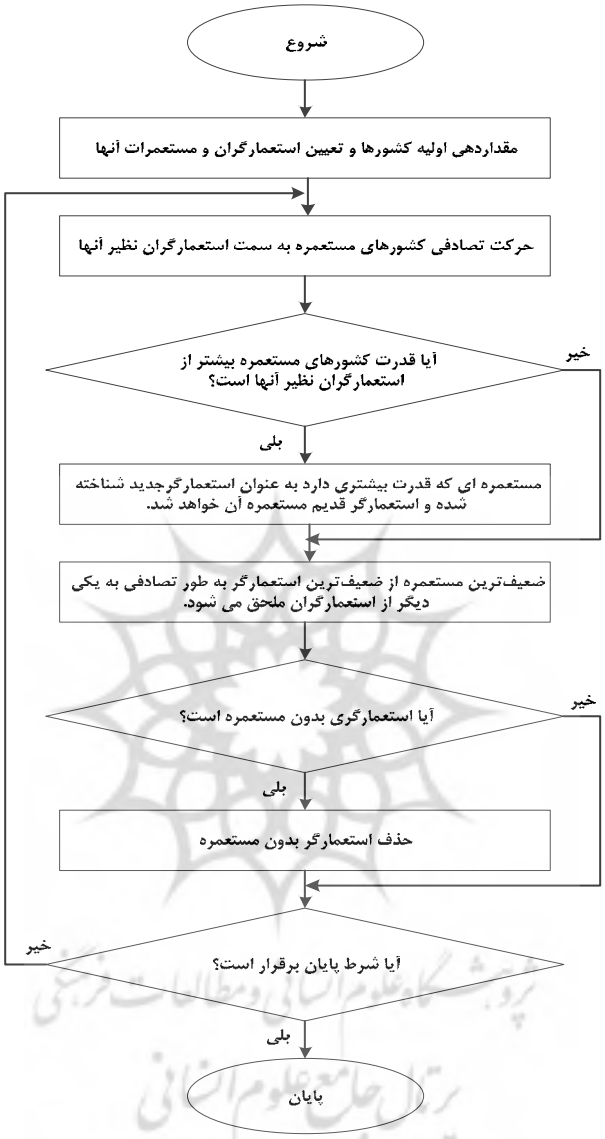
نمودار ۱. حرکت مستعمرات به سمت استعمارگر

در الگوریتم رقابت استعماری با یک انحراف احتمالی، مستعمره در مسیر جذب استعمارگر پیش می‌رود. این انحراف با زاویه θ نشان داده شده است که θ به‌صورت تصادفی و با توزیع یکنواخت انتخاب می‌شود. در حین حرکت مستعمرات به سمت کشور استعمارگر، ممکن است بعضی از این مستعمرات به موقعیتی بهتر از استعمارگر برسند. در این حالت، کشور استعمارگر و کشور مستعمره، جای خود را با هم عوض می‌کنند. برای مدل‌سازی این رقابت، ابتدا احتمال تصاحب مستعمرات توسط هر امپراطوری با درنظر گرفتن هزینه کل امپراطوری به‌صورت زیر محاسبه می‌شود.

رابطه (۸) $N.T.C._n = T.C._n - max\{T.C._i\}$

در این رابطه $T.C._n$ هزینه کل امپراتوری nام و $N.T.C._n$ نیز هزینه کل نرمالیزه شده آن امپراتوری است و احتمال تصاحب مستعمره توسط هر امپراتوری به‌صورت زیر محاسبه می‌شود.

رابطه (۹) $$p_{p_n} = \left| \frac{N.T.C._n}{\sum_{i=1}^{N_{imp}} N.T.C._i} \right|$$



نمودار ۲. مراحل الگوریتم رقابت استعماری

مثال عددی

در این بخش مثال عددی ارائه می‌شود تا نحوه کار رویکرد برنامه‌ریزی عدد صحیح غیرخطی صفر و یک برمبنای الگوریتم بهینه‌سازی رقابت استعماری را برای مسائل انتخاب سبد پروژه

چندمعیاره در عمل نشان دهیم. سپس برای نشان دادن اهمیت خاص الگوریتم‌های به‌کار رفته و مزیت آنها روش پیشنهادی روی مسائل مشابه با تعداد متغیرهای بالاتر اعمال شده، نتایج آن ارائه می‌شود. گفتنی است، در این پژوهش برای انجام تحلیل‌ها از نرم‌افزار MATLAB 7.6 استفاده شده است.

مثال پنج متغیره

هدف اصلی از ارائه این مثال پنج متغیره، نشان دادن فرآیند انتخاب زیرمجموعه ای از پروژه‌ها از مجموعه‌ای بزرگ‌تر است. برای مقایسه نتایج، محاسبات را به دو شیوه انجام می‌دهیم. ابتدا، اثر متقابل پروژه‌ها را نادیده می‌گیریم و مسئله را طبق مدل (۱) فرموله و حل می‌کنیم. سپس اثر متقابل پروژه‌ها را در مسئله لحاظ می کنیم و از مدل (۲) استفاده می‌کنیم. در هر دو حالت ضرایب الویت معیارها از نظر تصمیم‌گیرندگان را در مسئله انتخاب سبد پروژه لحاظ می‌کنیم. فرض کنید پنج پروژه موجود است $(A=\{a_1,a_2,a_3,a_4,a_5\})$ هدف، انتخاب دو پروژه از بین پنج پروژه موجود برحسب سه معیار بازگشت سرمایه، ریسک و امکان‌پذیری پروژه‌ها است. داده‌های مربوطبه این پروژه‌ها در جدول شماره (۱) نشان داده شده است.

جدول ۱. داده های اولیه پنج پروژه متفاوت

معیارها	الویت	پروژه ها i				
j	w_i	a_1	a_2	a_3	a_4	a_5
۱. بازگشت سرمایه	۳	۰/۳۳	۰/۲۷	۰/۵۶	۰/۴۴	۰/۷۸
۲. ریسک	۱	۰/۶۵	۰/۴۸	۰/۸۹	۰/۵۱	۰/۴۲
۳. امکان‌پذیری	۴	۰/۵۰	۰/۷۵	۰/۴۸	۰/۶۸	۰/۷۰

در جدول شماره (۱)، مقادیر $c_{51}=0.78, c_{52}=0.42, c_{53}=0.70$ به‌ترتیب نشان‌دهنده‌ی امتیاز پروژه a_5 نسبت‌به معیارهای ۱، ۲ و ۳ است. w_i ، نشان‌دهنده میزان اهمیت هر یک از معیارهای ۱، ۲ و ۳ است که توسط تصمیم‌گیرندگان تعیین می‌شود. برای تسهیل محاسبات الویت معیارها را در بازه [۰ , ۱] نرمالیزه می‌کنیم. برای این مقصود از فرمول زیر استفاده می‌کنیم.

رابطه (۱۰)

$$w_j' = \frac{w_j}{\sum_{j=1}^{J} w_j}$$

با استفاده از رابطه بالا، جدول شماره (۱) را می‌توان به شکل جدول شماره (۲) درآورد (همان‌گونه که در جدول شماره (۲) نشان داده شده است).

جدول ۲. داده‌های نرمالیزه شده پنج پروژه متفاوت

معیارها	الویت	پروژه‌ها i				
j	w_i	a_1	a_2	a_3	a_4	a_5
۱. بازگشت سرمایه	۰/۳۷۵	۰/۳۳	۰/۲۷	۰/۵۶	۰/۴۴	۰/۷۸
۲. ریسک	۰/۱۲۵	۰/۶۵	۰/۴۸	۰/۸۹	۰/۵۱	۰/۴۲
۳. امکان‌پذیری	۰/۵۰۰	۰/۵۰	۰/۷۵	۰/۴۸	۰/۶۸	۰/۷۰

در جدول بالا، اثرات متقابل بین پروژه‌ها لحاظ نشده است. در مسائل دنیای واقعی معمولاً بین پروژه‌ها تأثیرات متقابلی وجود دارد که می‌توان میزان این تأثیرها را با استفاده از تحلیل واریانس (ANOVA) اندازه‌گیری کرد (یو و همکاران، ۲۰۰۶). برای مثال، اگر دو پروژه a_1 و a_5 به‌طور همزمان انتخاب شوند، طبق اصل میانگین- واریانس نظریه سنتی انتخاب پروژه که مارکوویتز (۱۹۵۲) ارائه کرده است، منجربه افزایش بازگشت سرمایه و کاهش ریسک می‌شود. میزان امکان‌پذیری پروژه‌ها ممکن است افزایش یا کاهش داشته باشد که به ویژگی‌های پروژه‌ها بستگی دارد. در جدول شماره (۳) میزان اثرات متقابل پروژه‌ها بر یکدیگر نشان داده شده است.

جدول ۳. میزان اثرات متقابل بین پروژه‌ها برحسب معیارهای مختلف

معیارها	جفت پروژه ها (S_k)									
j	a_1a_2	a_1a_3	a_1a_4	a_1a_5	a_2a_3	a_2a_4	a_2a_5	a_3a_4	a_3a_5	a_4a_5
بازگشت سرمایه	۰/۲۰	۰/۴۵	۰/۴۰	۰/۶۵	۰/۴۵	۰/۳۵	۰/۵۵	۰/۴۰	۰/۶۰	۰/۵۵
ریسک	-۰/۱۵	-۰/۲۵	-۰/۱۴	-۰/۱۵	-۰/۲۰	-۰/۰۵	-۰/۱۰	-۰/۱۵	-۰/۲۵	-۰/۱۵
امکان‌پذیری	۰	۰	۰/۳۵	۰	۰	-۰/۴۵	۰	۰	۰	-۰/۸۰

میزان اثرات متقابل پروژه‌ها را می‌توان در جدول شماره (۳) مشاهده کرد. از پنج پروژه موجود می‌توان به C_2^5 حالت، دو پروژه انتخاب کرد؛ یعنی از کنار هم قرار گرفتن پروژه‌ها در یک ترکیب دو پروژه‌ای، ده جفت پروژه حاصل می‌شود که نشانگر فضای جواب مسئله است. هر یک از این ترکیب‌ها بر معیارهای مختلف اثرات متقابلی دارد. برای مثال، اثر متقابل جفت پروژه‌های $S_3=\{a_4,a_5\}$ ، $S_2=\{a_2,a_4\}$ و $S_1=\{a_1,a_4\}$ بر معیار امکان‌پذیری به‌ترتیب برابر با

$d_3(S_1)=0.35$، $d_3(S2)=-0.45$ و $d_3(S_3)=-0.80$ است. با داشتن میـزان اثـرات متقابـل بین پروژه‌ها، اکنون فرایند انتخاب سبد پروژه را تحت دو شرایط مـوردنظر (بـا درنظـر گـرفتن و بدون درنظر گرفتن اثرات متقابل بین پروژه‌ها) مقایسه می‌کنیم. در مرحله اول انتخاب سبد پروژه را بدون لحاظ کردن اثرات متقابل پـروژه‌هـا انجـام مـی‌دهـیم. بـا اسـتفاده از نظریـه مطلوبیـت چندشاخصه (MAUT) تابع هدف را می‌توانیم به‌شکل زیر فرموله کنیم.

رابطه (۱۱)

$$\begin{aligned}V=&[(0.375\times0.33)+(0.125\times0.65)+(0.500\times0.50)]x_1\\&+[(0.375\times0.27)+(0.125\times0.48)+(0.500\times0.75)]x_2\\&+[(0.375\times0.56)+(0.125\times0.89)+(0.500\times0.48)]x_3\\&+[(0.375\times0.44)+(0.125\times0.51)+(0.500\times0.68)]x_4\\&+[(0.375\times0.78)+(0.125\times0.42)+(0.500\times0.70)]x_5\\=&\,0.455x_1+0.53625x_2+0.56125x_3+0.56875x_4+0.695x_5\end{aligned}$$

طبق مدل (۱)، مسئله بهینه‌سازی انتخاب سبد پروژه را می‌توانیم به‌شکل زیر فرموله کنیم.

رابطه (۱۲)

$$\begin{cases}MaxV=0.455x_1+0.53625x_2+0.56125x_3+0.56875x_4+0.695x_5\\ s.t.\qquad x_1+x_2+x_3+x_4+x_5=2\\ x_i=\{0,1\},\ i=1,2,\ldots,5\end{cases}$$

با استفاده از الگوریتم برنامه‌ریزی عدد صحیح باینری (BIP) به‌راحتی می‌توان جواب بهینه را بدین شکل x=(0,0,0,1,1) با مقدار تابع هدف V=1.26375 به‌دست آورد. به هر حال این فقط ساده‌ترین حالت است. اگر تأثیر متقابل بین پروژه‌ها لحاظ شود، مسئله پیچیده‌تر می‌شود. در ایـن بخش، اثرات متقابل بین پروژه‌ها را طبق رابطـه (۲) در مسـئله لحـاظ مـی‌کنـیم. طبـق نظریـه مطلوبیت چندشاخصه (MAUT) و درنظر گرفتن اثرات متقابل بین پروژه‌ها، با اسـتفاده از رابطـه (۲) مسئله بهینه‌سازی سبد را می‌توان به‌شکل زیر نشان داد.

رابطه (۱۳)

$$\begin{cases}MaxV=0.455x_1+0.53625x_2+0.56125x_3+0.56875x_4+0.695x_5+\\ 0.0238x_1x_2+0.1021x_1x_3+0.3035x_1x_4+0.2505x_1x_5+0.1058x_2x_3-\\ 0.5136x_2x_4+0.2053x_2x_5+0.1238x_3x_4+0.2606x_3x_5-0.2972x_4x_5\\ s.t.\qquad x_1+x_2+x_3+x_4+x_5=2\\ x_i=\{0,1\},\ i=1,2,\ldots,5\end{cases}$$

نتایج بهینه‌سازی با استفاده از الگوریتم رقابت استعماری

در این بخش نتایج بهینه‌سازی برای مدل‌ها و نمونه‌های معرفی‌شده در بخش قبل با استفاده از الگوریتم رقابت استعماری ارائه می‌شود. خواهیم دید که این روش منجربه یافتن جواب بهتر برای آن می‌شوند. این امر در مقایسه با الگوریتم‌های مشابه مانند الگوریتم ژنتیک، الگوریتم بهینه‌سازی گروه ذرات و الگوریتم بهینه‌سازی گروه ذرات آشوبناک نشان داده خواهد شد.

به‌منظور نخستین مقایسه و آشنایی با روند کار به مسئله‌ی انتخاب دو پروژه از پنج پروژه با سه معیار و با درنظر گرفتن اثرات متقابل بین پروژه‌ها که در بخش مثال عددی معرفی شده است، پرداخته می‌شود. این مثال برای الگوریتم ICA بسیار ساده بوده و در نخستین تکرار جواب مسئله مشخص می‌شود که به‌صورت زیر است.

$$(x_1, x_2, x_3, x_4, x_5) = (0,0,1,0,1) \rightarrow V = 1.51685$$

و اگر اثرات متقابل بین پروژه‌ها درنظر گرفته نشود، جواب مسئله به‌شکل زیر خواهد بود.

$$(x_1, x_2, x_3, x_4, x_5) = (0,0,0,1,1) \rightarrow V = 1.26375$$

که این تفاوت بیانگر اهمیت درنظر داشتن اثرات متقابل در جواب نهایی مسئله است؛ بنابراین، در تمامی مسائل در ادامه این اثرات را مدنظر خواهیم داشت.

مثال‌های عددی با تعداد متغیرهای بالا

اهمیت استفاده از الگوریتم‌هایی مانند ICA، GA ، PSO و CPSO در حل مسائل با ابعاد بالا یعنی با تعداد متغیرهای از چندین ده و چندین صد است. در این‌گونه مسائل تعداد حالت‌های ممکن و قابل‌قبول بسیار زیاد خواهد بود و از سویی تعداد کل جواب‌ها در فضای جستجو نیز بسیار بیشتر است و این امر جستجو در فضای جواب‌ها را بسیار مشکل می‌کند. استفاده از الگوریتم ICA امکان یافتن جواب‌های بهتر و مطمئن‌تر از نظر برازندگی را فراهم می‌آورد. در یک مسئله برای انتخاب m پروژه از میان n پروژه تعداد حالت‌های قابل‌قبول که در قید تعداد پروژه‌های انتخابی صدق می‌کنند به‌صورت رابطه (۱۴) است.

رابطه (۱۴) تعداد حالات قابل قبول:

$$\binom{N}{m} = \frac{n!}{m!(n-m)!}$$

همچنین در این مورد تعداد کل جواب‌هایی که یک الگوریتم جستجو با آن مواجه است 2^n حالت می‌باشد. در جدول شماره (۴) این مقادیر برای چندین نمونه مسئله نشان داده شده است.

جدول ٤. تعداد حالات در مسائل با تعداد پروژه‌های زیاد

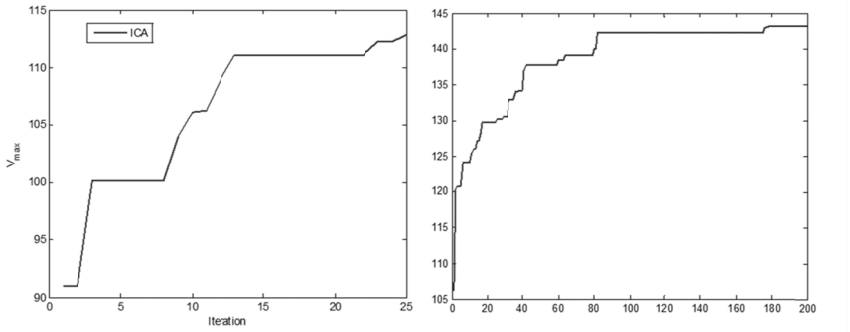
تعداد پروژه‌ها	تعداد انتخاب	تعداد کل حالات	تعداد حالات قابل‌قبول
۱۰	۵	۱۰۲۴	۲۵۲
۲۰	۱۰	۱۰۴۸۵۷۶	۱۸۴۷۵۶
۳۰	۱۵	۱۰۷۳۷۴۱۸۲۴	۱۵۵۱۱۷۵۲۰
۴۰	۲۰	۱۰۹۹۵۱۱۶۲۷۷۷۶	۱۳۷۸۴۶۵۲۸۸۲۰
۵۰	۲۵	۱/۱۲۵۸۹۹۹۰۶۸۴۲۶۲×۱۰^۱۵	۱۲۶۴۱۰۶۰۶۴۳۷۷۵۲
۶۰	۳۰	۱/۱۵۲۹۲۱۵۰۴۶۰۶۸۵×۱۰^۱۸	۱/۱۸۲۶۴۵۸۱۵۶۴۸۱×۱۰^۱۷
۷۰	۳۵	۱/۱۸۰۵۹۱۶۲۰۷۱۷۴۱×۱۰^۲۱	۱/۱۲۱۸۶۲۷۷۸۱۶۶۶×۱۰^۲۰

بنابراین، برای مسائل با تعداد پروژه‌های زیاد ناگزیر به استفاده از الگوریتم‌های جستجوی تصادفی مانند ICA ، PSO و CPSO هستیم. در این بخش تعدادی مسئله‌ی انتخاب پروژه با ابعاد بالا و با درنظر گرفتن اثرات متقابل درنظر گرفته می‌شوند. هدف انتخاب نیمی از این پروژه‌ها به‌صورتی است که تابع برازندگی V بیشینه شود. از آنجا که تعداد معیارها تنها در ضرایب متغیر های x_i یا جملات تقابلی مرتبه‌ی بالاتر مانند $x_j x_i$ ظاهر می‌شود و اثری در تعداد حالات و سختی جستجو ندارد، تعداد معیارها را ثابت و برابر سه درنظر می‌گیریم. پارامترهای الگوریتم‌های PSO و CPSO به‌کار رفته در جدول شماره (۵) آمده است.

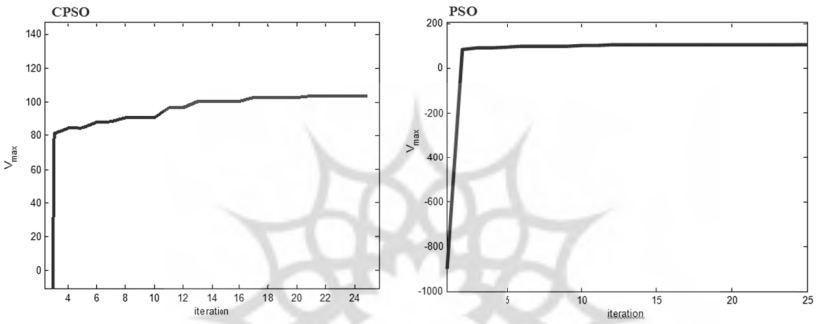
جدول ۵. پارامترهای مورداستفاده در الگوریتم

تعداد کشورها	۲۰۰
تعداد استعمارگران اولیه	۸
تعداد دوره‌ها (تعداد تکرارهای الگوریتم)	۲۵
نرخ انقلاب	۰/۳
ضریب همگون‌سازی	۲
پارامتر ξ	۰/۰۲
ضریب زاویه همگون‌سازی	۰/۵

یک نمونه منحنی همگرایی که نشان دهنده‌ی مقدار بهترین V طی تکرارهای متوالی الگوریتم CIA است، در نمودار شماره (۳) نشان داده شده است. برای مقایسه نتایج مربوطبه الگوریتم‌های PSO و CPSO نیز در نمودار شماره (۴) نشان داده شده است.



نمودار ۳. منحنی همگرایی الگوریتم ICA



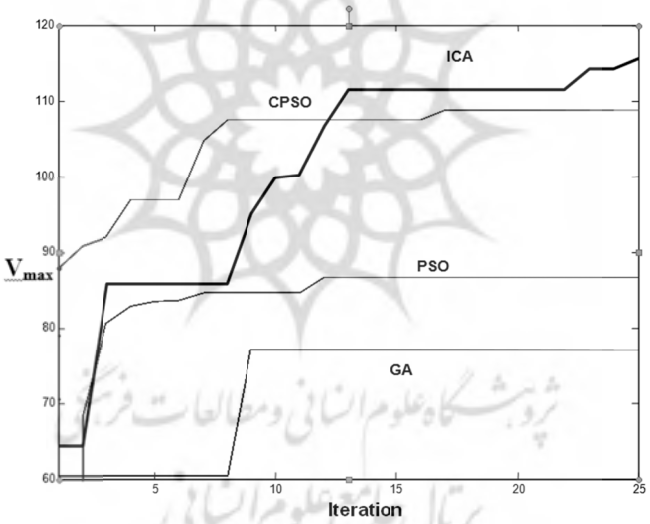
نمودار ٤. منحنی همگرایی PSO و CPSO

برای مقایسه نتایج الگوریتم‌ها، تعداد ۲۵ تکرار برای هر الگوریتم درنظر گرفته شده است. همان‌گونه که در نمودار شماره (۴) مشاهده می‌شود، نتیجه الگوریتم ICA نسبت‌به الگوریتم‌های PSO و CPSO مناسب‌تر است. همچنین در نمودار شماره (۴) مشاهده می‌شود اگر الگوریتم ICA را بیشتر تکرار کنیم نتیجه بیشتر نیز بهبود خواهد یافت. در واقع اگرچه الگوریتم‌های PSO و CPSO در کمتر از ۲۵ تکرار به همگرایی می‌رسند، اما نتیجه حاصل از الگوریتم ICA به‌طور قابل‌توجهی بهتر از آنها است و نشان‌دهنده‌ی قدرت این الگوریتم در اجتناب از دام نقاط بهینه محلی است. پرش‌های ریز با تعداد بیشتر که در منحنی همگرایی درمورد CPSO دیده می‌شود (به‌منظور مشاهده بهتر از تکرار دو به بعد رسم شده است، در تکرار اول جواب غیرقابل قبول بوده است که با درنظر گرفتن جریمه مقدار V منفی شده است)، به علت جستجوی محلی و تلاش الگوریتم برای دست‌یابی به پاسخ بهتر بوده است. با این حال الگوریتم PSO به علت تعداد محاسبات کمتر سرعت بیشتری دارد. پارامترهای الگوریتم‌های PSO و CPSO به‌کار رفته در جدول شماره (۶) آمده است.

جدول ٦. پارامترهای الگوریتم‌های PSO و CPSO

تعداد ذرات	۳۰
تعداد بیشترین تکرار الگوریتم	۵۰
C_1	۲
C_2	۲
ضریب میرایی	۰/۹۹۹۹
اینرسی	عدد تصادفی با توزیع یکنواخت در بازه [۱و۰]
K_{max} (فقط برای CPSO)	۴۰

در نمودار شماره (۵) مقایسه بین منحنی‌های همگرایی الگوریتم‌های CIA، GA، PSO و CPSO برای مسئله‌ی یکسان با پنجاه پروژه نشان داده شده است که نشان‌دهنده‌ی مزیت به‌ترتیب CIA، CPSO، PSO و GA بر یکدیگر از لحاظ جواب نهایی است.



نمودار ۵. مقایسه منحنی‌های همگرایی الگوریتم های ICA، GA، PSO و CPSO برای مسئله یکسان

با وجود مزیت یادشده از نظر جواب، سرعت یافتن جواب نیز اهمیت دارد که در این مورد PSO از مزیت بیشتری برخوردار است. سرعت یافتن جواب ICA نیز از CPSO بهتر است؛ زیرا با ترکیب جستجوی محلی آشوبناک در CPSO بخشی از زمان صرف اجرای جستجوی محلی می‌شود. زمان صرف‌شده برای مسائل با تعداد متغیرهای مختلف به ازای الگوریتم‌های نامبرده در جدول شماره (۷) مقایسه شده است.

جدول ۷. مقایسه زمان رسیدن به جواب بهینه برای الگوریتم‌های ICA، GA، PSO و CPSO

تعداد پروژه‌ها	تعداد انتخاب	زمان اجرای GA	زمان اجرای PSO	زمان اجرای CPSO	زمان اجرای ICA
۱۰	۵	۱۰/۳۲	۱/۳۸	۱/۸۹	۱/۵۷
۲۰	۱۰	۲۶/۲۸	۱/۹۶	۲/۵۵	۱/۹۸
۳۰	۱۵	۲۷/۳۴	۲/۷۷	۴/۷۲	۲/۹۳
۴۰	۲۰	۳۶/۲۵	۴/۱۹	۷/۳۱	۴/۶۶
۵۰	۲۵	۴۵/۱۳	۶/۵۸	۸/۶۷	۷/۰۸
۶۰	۳۰	۵۳/۲۱	۸/۰۳	۱۱/۰۲	۸/۲۱
۷۰	۳۵	۶۳/۸۴	۹/۱۲	۱۲/۹۴	۹/۸۴

نتیجه‌گیری

در این مقاله مسئله انتخاب سبد پروژه با درنظر گرفتن اثر متقابل پروژه‌ها با استفاده از الگوریتم بهینه‌سازی رقابت استعماری بررسی شد. نشان داده شد که روش ICA نسبت‌به روش‌های PSO و CPSO و روش الگوریتم ژنتیک که پیش از این در این‌گونه مسائل به‌کار رفته‌اند برتری دارد. الگوریتم PSO نسبت‌به سایر روش‌ها سرعت بیشتری در به‌دست آوردن جواب مسئله از خود نشان می‌دهد. با این حال با استفاده از الگوریتم بهینه‌سازی رقابت استعماری، جواب نهایی معمولاً از برازندگی بهتری برخوردار خواهد بود و از گیر افتادن ذرات در تله‌های محلی جلوگیری می‌شود. اگرچه الگوریتم رقابت استعماری در تکرارهای بیشتری به همگرایی می‌رسد، اما از آنجا که سرعت هر تکرار در این روش کمتر از الگوریتم های GA و CPSO است، در زمان کمتری به همگرایی و جواب نهایی می‌رسد. پیشنهاد می‌شود که در پژوهش‌های آتی از سایر الگوریتم-های فراابتکاری مانند جستجوی هارمونی[1]، جستجوی فاخته[2] و الگوریتم کرم‌های شب‌تاب[3] که قابلیت‌کاربرد برای حل چنین مسئله‌ای را دارا هستند استفاده شود و نتایج حاصل با الگوریتم استفاده‌شده در پژوهش حاضر مقایسه شود. همچنین در پژوهش‌های آتی برای کاربرد عملی می‌توان از داده‌های واقعی برای انجام پژوهش استفاده کرد.

1. Harmony search
2. cuckoo search
3. glowworm swarm optimization

منابع

Atashpaz-Gargari, E., Lucas, C. (2007). *Imperialist Competitive Algorithm: An Algorithm for Optimization inspired by imperialistic Competition*. In: IEEE Congress on Evolutionary Computation, Singapore, 4661–67.

Aulto, T. (2000). *Strategies and Methods for Project Portfolio Management*, seminar in project management, helsinki university of technology.

Badri, M.A., & Davis, D. (2001). A comprehensive 0–1 goal programming model for project selection. *International Journal of Project Management*, 19(4), 243-252.

Beaujon, G.J., Marin, S.P., & McDonald, G.C. (2001). Balancing and optimizing a portfolio of R&D projects. *Naval Research Logistics*, 48(1), 18-40

Blechfeldt, B. & Eskerod, P. (2008). Project portfolio management -There is more to it than what. *International Journal of Project Management*, 26, 357-365.

Bouyssou, D., Marchant, T., Pirlot, M., Tsoukias, A., & Vincke, P. (2006). *Evaluation and Decision Models with Multiple Criteria: Stepping Stones for the Analyst*. New York: Springer.

Carlsson, C., & Fuller, R. (1995). Multiple criteria decision making: the case for interdependence. *Computers & Operations Research*, 22, 251–260.

Carraway, R. L., & Schmidt, R. L. (1991). An improved discrete dynamic programming algorithm for allocating resources among interdependent projects. *Management Science*, 37, 1195–1200.

Fandel, G., & Gal, T. (2001). Redistribution of funds for teaching and research among universities: the case of North Rhine–Westphalia. *European Journal of Operational Research*, 130(1), 111-120.

Ghasemzadeh, F., Archer, N., & Iyogun, P. (1999). A Zero-One Model for Project Portfolio Selection and Scheduling. *The Journal of the Operational Research Society*, 50(7), 745-755.

Ghorbani, S., & Rabbani, M. (2009). A new multi-objective algorithm for a project selection problem. *Advanced Engineering Software*, 40(1), 9-14.

Gustafsson, S.T., & Mild, P. (2004). Prospective evaluation of a cluster program for Finnish forestry and forest industries. *International Transactions in Operational Research*, 11(2), 139-154.

Halouani, N., Chabchoub, H., & Martel, J.M. (2009). PROMETHEE-MD-2T method for project selection. *European Journal of Operational Research*, 95(3), 841-849.

Hammer, P., & Rudeanu, S. (1968). Boolean methods in operations research and related areas. Berlin: Springer.

Liesio, J., Mild, P., & Salo, A. (2007). Preference programming for robust portfolio modeling and project selection. *European Journal of Operational Research*, 181, 1488–1505.

Mavrotas, G., Diakoulaki, D., & Caloghirou, Y. (2006). Project prioritization under policy restrictions: A combination of MCDA with 0–1 programming. *European Journal of Operational Research*, 171(1), 296-308.

Medaglia, A. L., Hueth, D., Mendieta, J. C., & Sefair, J. A. (2007). Multiobjective model for the selection and timing of public enterprise projects. *Socio-Economic Planning Sciences*, 41, 31–45.

Peng, Y., Kou, G., Shi, Y., & Chen, Z. (2008). A multi-criteria convex quadratic programming model for credit data analysis. *Decision Support Systems*, 44(4), 1016–1030.

Pisinger, D. (2001). Budgeting with bounded multiple choice constraints. *European Journal of Operational Research*, 129(3), 471-480.

Rafiei, H., & Rabbani, M. (2009). Project Selection Using Fuzzy Group Analytic Network Process. *World Academy of Science, Engineering and Technology*, 58, 122-126.

Talias, M. A. (2007). Optimal decision indices for R&D project evaluation in the pharmaceutical industry: Pearson index versus Gittins index. *European Journal of Operational Research*, 177, 1105–1112.

Yu, L., Wang, S. Y., & Lai, K. K. (2006). An integrated data preparation scheme for neural network data analysis. *IEEE Transactions on Knowledge and Data Engineering*, 18, 217–230.

پژوهشگاه علوم انسانی و مطالعات فرهنگی
پرتال جامع علوم انسانی