

مسئله چندهدفه انتخاب و زمان بندی سبد پروژه در شرایط عدم قطعیت (مطالعه موردی: شرکت دانش بنیان پایافناوران فردوسی)

ابراهیم رضایی نیک^۱، فریبا مولوی^۲

چکیده: امروزه سازمان‌ها و به خصوص مراکز تحقیق و توسعه با مسئله انتخاب سبد پروژه در شرایط عدم قطعیت مواجه‌اند. علاوه بر این در بیشتر تحقیقات گذشته زمان بندی سبد پروژه به صورت مجزا پس از انتخاب آنها صورت می‌گیرد که به کاهش کارایی مدل می‌انجامد. از این رو در این پژوهش، یک مدل برنامه ریزی عدد صحیح غیرخطی برای مسئله چندهدفه انتخاب و زمان بندی همزمان با اهداف ماکزیم سازی ارزش کنونی خالص مورد انتظار و مینیمم سازی ارزش کنونی واریانس درآمد کل پروژه‌ها ارائه می‌شود. همچنین درآمد سالانه پروژه‌ها دارای خودهمبستگی است و از مدل سری زمانی مناسبی پیروی می‌کند. از مزایای مدل پیشنهادی، در نظر گرفتن ریسک ناشی از عدم قطعیت موفقیت پروژه‌ها و درآمد آنها و نیز ریسک ناشی از کمبود بودجه است. با توجه به پیچیدگی زیاد آن به خصوص برای مسائل بزرگ، الگوریتم‌های ازدحام ذرات، شبیه سازی تبرید و ژنتیک ارائه شده و کارایی آنها در یک مثال فرضی مقایسه می‌شود. نتایج حاصل، بیانگر برتری نسبی الگوریتم شبیه سازی تبرید از نظر کیفیت جواب و زمان اجراست. سرانجام مدل پیشنهادی با پیاده سازی در یک شرکت دانش بنیان در دانشگاه فردوسی مشهد اعتبارسنجی می‌شود.

واژه‌های کلیدی: احتمال موفقیت پروژه، انتخاب و زمان بندی سبد پروژه، درآمدهای خودهمبسته، شبیه سازی تبرید.

۱. استادیار گروه مهندسی صنایع، دانشکده مهندسی صنایع، دانشگاه صنعتی سجاد، مشهد، ایران

۲. دانشجوی کارشناسی ارشد مهندسی صنایع، دانشکده مهندسی صنایع، دانشگاه صنعتی سجاد، مشهد، ایران

تاریخ دریافت مقاله: ۱۳۹۳/۰۹/۱۷

تاریخ پذیرش نهایی مقاله: ۱۳۹۴/۰۵/۰۶

نویسنده مسئول مقاله: فریبا مولوی

E-mail: f_molavi69@yahoo.com

مقدمه

مسئله انتخاب سبد پروژه، زمانی مطرح می‌شود که افراد سعی دارند سرمایه خود را به گونه‌ای به پروژه‌های پیشنهادی تخصیص دهند تا به آرمان سرمایه‌گذاری دسترسی یابند. در تحقیقات گذشته، تلاش‌های بسیاری در زمینه مسئله انتخاب پروژه صورت گرفته است، با وجود این در اغلب آنها، زمان‌بندی سبد پروژه جداگانه پس از انتخاب آن صورت می‌گیرد، که به ناکارآمدی این مدل‌ها در دنیای واقعی منجر می‌شود. از این رو یکی از مهم‌ترین دغدغه‌های مدیران پروژه، تخصیص بهینه منابع مالی در زمان مناسب، برای دستیابی به حداکثر سود است. علاوه بر این امروزه، امکان تعیین دقیق بسیاری از پارامترهای مسئله، مانند درآمد و هزینه پروژه‌ها وجود ندارد، از این رو ریسک مواجهه با کمبود بودجه نیز افزایش می‌یابد. خودهمبستگی بین درآمد سالانه پروژه‌ها نیز از عواملی است که به پیچیدگی مسئله منجر می‌شود.

بنابراین هدف این پژوهش ارائه مدلی برای مسائل انتخاب و زمان‌بندی پروژه در شرایط عدم قطعیت است، که در آن، خودهمبستگی بین درآمد هر دوره پروژه‌ها در نظر گرفته شده و نیز ریسک مواجهه با کمبود بودجه در سطح معینی کنترل شود. همچنین از دیگر اهداف این مقاله ارائه روش حل مناسب برای حل مسئله برنامه‌ریزی احتمالی است. این مقاله در پنج بخش تنظیم شده است. در ادامه، ضمن بررسی تحقیقات گذشته، نوآوری پژوهش تبیین می‌شود. بخش سوم به شرح مدل تحقیق و الگوریتم‌های پیشنهادی اختصاص دارد. بخش چهارم، یافته‌های پژوهش است. در این بخش ابتدا کارایی الگوریتم‌ها با استفاده از یک مثال فرضی مقایسه و سپس کاربرد مدل در یکی از مسائل دنیای واقعی ارزیابی می‌شود. بخش پایانی نیز به نتیجه‌گیری و تحقیقات آتی اختصاص یافته است.

پیشینه پژوهش

پیشینه نظری

در زمینه انتخاب پروژه ادبیات وسیعی وجود دارد. با وجود این، کافین و تیلور (۱۹۹۶)، بیان کردند که در نظر نگرفتن زمان‌بندی پروژه‌ها در مسائل انتخاب پروژه ممکن است موجب تمام نشدن تمام پروژه‌های انتخابی در افق برنامه‌ریزی یا استفاده بیشتر از منابع به منظور اتمام آنها در موعد مقرر شود. کارازو، گومز، مولینا، هرماندز-دیزا و گوررو (۲۰۱۰) نیز اشاره کردند که ممکن است گاهی به دلیل محدودیت منابع امکان شروع تمام پروژه‌های انتخابی در ابتدای افق برنامه‌ریزی وجود نداشته باشد، درحالی که در دوره‌های بعد ممکن است منابع کافی برای اجرای آنها وجود داشته باشد. از طرف دیگر، بیکر و فریلند (۱۹۷۵)، در بررسی روند پیشرفت فرایند انتخاب پروژه،

عدم توجه مناسب به ریسک و عدم قطعیت را از دلایل ناکارآمدی مدل‌ها در دنیای واقعی برشمردند. عدم قطعیت جریان‌های نقدی به افزایش ریسک پروژه‌ها منجر می‌شود. با وجود این نمی‌توان ریسک پروژه را تنها ناشی از عدم قطعیت عوامل مالی دانست. به‌طور کلی در حین اجرای پروژه ممکن است اتفاقاتی رخ دهد و وقوع پروژه را به مخاطره بیندازد (جعفرنژاد و یوسفی زنوز، ۱۳۸۷). ژو، وانگ، وانگ و چن (۲۰۱۱) نیز اشاره کردند که رویکردهای سنتی گذشته مناسب حل مسئله انتخاب پروژه با محدودیت منابع و اهداف چندگانه نیستند. پیچیدگی مدل‌های ارائه‌شده برای مسائل انتخاب و زمان‌بندی با ماهیت غیرخطی نیز، مورد توجه محققان بسیاری از جمله عباسی، اشرفی و شریفی تشنیزی (۲۰۱۴) قرار گرفته است. کارازو و همکاران (۲۰۱۰) نیز ضمن ارائه یک مدل چندهدفه برنامه‌ریزی عدد صحیح غیرخطی اشاره کردند که با افزایش تعداد پروژه‌ها و توابع هدف پیچیدگی مسئله افزایش می‌یابد.

پیشینه تجربی

مسئله انتخاب پروژه از دیرباز مورد توجه بسیاری از سازمان‌ها و مراکز گوناگون بوده است. محقر، مهرگان، آذر و مطهری (۱۳۹۳) مدلی برای انتخاب پروژه‌های عمرانی در بخش عمومی ارائه کردند. دری، اسدی و مظاهری (۱۳۹۳) مدلی برای ارزیابی و انتخاب پروژه با در نظر گرفتن تأثیرات متقابل معیارها ارائه کردند. در این مدل دومرحله‌ای ابتدا با تشکیل الگوریتم شاخه و کران و در نظر گرفتن اشتراک منابع پروژه‌ها، سبدهای بیشینه مشخص شده و سپس کارایی هر یک از این سبدها با استفاده از مدل شبکه عصبی مصنوعی ارزیابی شده است. در شرایط عدم قطعیت موجود، امکان تعیین دقیق جریان‌های نقدی پروژه وجود ندارد. هوانگ و ژائو (۲۰۱۴)، بیان کردند که گاهی امکان تخمین سود اوراق بهادار براساس اطلاعات پیشین وجود ندارد. از این رو یک روش عاملی^۱ برای ارزیابی سود اوراق بهادار، براساس نظر کارشناسان پیشنهاد کردند. سپس یک مدل میانگین واریانس برای مسائل انتخاب پروژه ارائه کردند. گل‌محمدی و پژوتن (۲۰۱۱)، مدلی برای انتخاب پروژه‌ها پیشنهاد کردند که در آن، درآمد پروژه‌ها متغیر تصادفی با توزیع احتمالی معلوم و مستقل از هم فرض شدند و هزینه‌های هر پروژه، قطعی اما وابسته به سایر پروژه‌ها در نظر گرفته شده است. همچنین ریسک را به‌صورت احتمال کمبود درآمد از مقدار معینی، تعریف کردند و تابع هدف را به‌صورت ماکزیم‌سازی سود خالص مورد انتظار در نظر گرفتند. در بسیاری از تحقیقات پیشین مسائل انتخاب سبد پروژه و زمان‌بندی پروژه‌ها به‌صورت مجزا بررسی شد. با وجود این، اهمیت انتخاب و زمان‌بندی همزمان پروژه‌ها،

موجب شد تا پژوهش‌هایی در این زمینه (لیو وانگ، ۲۰۱۱؛ کارازو و همکاران، ۲۰۱۰؛ چن و اسکین، ۲۰۰۹؛ سان و ما، ۲۰۰۵) صورت بگیرد. از طرف دیگر، مواجهه با ریسک به‌ویژه در شرایط عدم قطعیت اجتناب‌ناپذیر است. سفایر و مدالیا (۲۰۰۵)، هزینه پروژه‌ها را قطعی و درآمد پروژه‌ها را غیرقطعی در نظر گرفتند و آنها را با استفاده از مدل‌های سری زمانی پیش‌بینی کردند. از این‌رو نویسندگان برای حداقل کردن ریسک ناشی از عدم قطعیت درآمد پروژه‌ها، واریانس ارزش کنونی خالص را به‌عنوان تابع هدف دوم در کنار تابع ماکزیمم‌سازی ارزش کنونی خالص ارائه کردند. مولوی (۱۳۹۳) نیز مدلی برای انتخاب و زمان‌بندی پروژه با هدف ماکزیمم‌سازی سود خالص مورد انتظار ارائه کرد که در آن درآمد سالانه از فرایند الگوی مرکب اتورگرسیو- میانگین متحرک^۱ پیروی کرده و ریسک به‌صورت احتمال تخطی از بودجه^۱ مورد انتظار در نظر گرفته شده است. قاسم‌زاده، آرچر و ایگون (۱۹۹۹) نیز ریسک هر پروژه را به‌منزله یکی از معیارهای بهینه‌سازی در نظر گرفتند. کافین و تیلور (۱۹۹۶)، ریسک ناشی از احتمال موفقیت پروژه‌ها را در نظر گرفتند و به ماکزیمم‌سازی سود پروژه، مینیمم‌سازی مدت زمان پروژه و ریسک پرداختند.

در زمینه حل مسئله انتخاب و زمان‌بندی نیز تحقیقات بسیاری صورت گرفته است. نادری (۲۰۱۳)، برای مسئله انتخاب و زمان‌بندی سید پروژه انتخابی با محدودیت منابع، یک مدل برنامه‌ریزی عدد صحیح مختلط ارائه کرده و برای حل آن از الگوریتم‌های فراابتکاری ژنتیک، رقابت استعماری^۲ و شبیه‌سازی تبرید^۳ استفاده شده است. نتایج این تحقیق برتری الگوریتم رقابت استعماری را بر ژنتیک و شبیه‌سازی تبرید نشان داده است. نیک‌خواه‌نسب و نجفی (۲۰۱۳) نیز مدلی مشابه را با استفاده از شبیه‌سازی تبرید و ژنتیک حل کردند، که نتایج آن حاکی از برتری الگوریتم ژنتیک بوده است. پورکاظمی، فتاحی، مظاهری و اسدی (۱۳۹۲)، الگوریتم رقابت استعماری را برای مسئله انتخاب سید پروژه، با در نظر گرفتن تأثیرات متقابل پروژه‌ها ارائه کردند و به مقایسه آن با ژنتیک، ازدحام ذرات^۴ و ازدحام ذرات آشوبناک پرداختند. نتایج بیانگر برتری رقابت استعماری است. فریدونی و مرادیان بروجنی (۱۳۹۰)، الگوریتم شبیه‌سازی تبرید را برای مسئله بودجه‌بندی سرمایه براساس برنامه‌ریزی شانس، ارائه کردند. نویسندگان سرعت همگرایی زیاد و سادگی این الگوریتم را از مزایای آن برشمردند. گل‌محمدی و پژوتن (۲۰۱۱)، الگوریتم الکترومغناطیس و ژنتیک را برای مسئله انتخاب پروژه‌های وابسته با در نظر گرفتن ریسک به کار

-
1. Autoregressive moving average (ARMA)
 2. imperialist Competitive Algorithm (ICA)
 3. Simulated Annealing (SA)
 4. Practical Swarm Algorithm (PSO)

بردند. نتایج مقایسه این الگوریتم‌ها، برتری الگوریتم ژنتیک را نشان داده است. ژو، وانگ، وانگ و چن (۲۰۱۱)، نخستین بار الگوریتم ازدحام ذرات را برای مسئله بهینه‌سازی غیرخطی انتخاب سبد پروژه با محدودیت منابع و اهداف چندگانه، به کار بردند و آن را با الگوریتم ژنتیک مقایسه کردند، که نتایج حاکی از کارایی الگوریتم ازدحام ذرات بود. کارازو و همکاران (۲۰۱۰) نیز یک مدل برنامه‌ریزی چندهدفه صفر و یک غیرخطی برای این مسئله ارائه کرده و آن را با استفاده از الگوریتم فراابتکاری مبتنی بر جست‌وجوی پراکنده، حل کردند.

همان‌طور که اشاره شد، تحقیقات صورت‌گرفته در زمینه مسائل انتخاب و زمان‌بندی همزمان پروژه‌ها در شرایط عدم قطعیت، محدودند. در تحقیقات پیشین، ریسک ناشی از عدم قطعیت درآمد پروژه‌ها در نظر گرفته شده است. با وجود این در بیشتر آنها هزینه هر پروژه و بودجه تعیین شده برای هر دوره قطعی است. این در حالی است که بررسی مسائل دنیای واقعی و نیز نظر کارشناسان این مسائل، نشان می‌دهد که غیرقطعی در نظر گرفتن هزینه به اتخاذ تصمیمات بهتر و واقع‌بینانه‌تری می‌انجامد. برای مثال چنانچه هزینه‌های هر پروژه به میزان تولید وابسته باشد، امکان تعیین دقیق هزینه‌ها وجود ندارد. از این رو استفاده از یک مقدار ثابت برای آن، ممکن است به ناکارآمدی نتایج منجر شود. بنابراین، در مدل پایه این پژوهش، که تعمیمی از مدل مولوی (۱۳۹۳) است، علاوه بر درآمد، هزینه و بودجه هر دوره نیز غیرقطعی فرض می‌شوند. با توجه به عدم قطعیت هزینه، امکان مواجهه با کمبود بودجه افزایش می‌یابد. در تحقیقات گذشته، تلاشی برای کنترل ریسک مواجهه با کمبود بودجه صورت نگرفته است، که از موارد نوآوری این پژوهش به‌شمار می‌آید. از سوی دیگر، بسیاری از پروژه‌ها به‌ویژه پروژه‌های تحقیقاتی در شرکت‌های دانش‌بنیان ممکن است با شکست مواجه شوند، از این رو از دیگر اهداف این پژوهش در نظر گرفتن ریسک ناشی از آن است. علاوه بر این، ریسک ناشی از عدم قطعیت درآمدها با حداقل کردن پراکندگی درآمد هر پروژه، در نظر گرفته می‌شود. مدل پیشنهادی، یک مسئله برنامه‌ریزی عددصحيح غیرخطی است. با توجه به اینکه این مسائل در گروه مسائل بهینه‌سازی ترکیبی NP-complete قرار می‌گیرند (کارپ، ۱۹۷۲)، الگوریتم‌های ازدحام ذرات، شبیه‌سازی تبرید و ژنتیک برای حل این مسئله معرفی می‌شود.

روش پژوهش

به‌منظور رفع کمبودهای تحقیقاتی مطرح‌شده در بخش‌های گذشته، در این قسمت یک مدل چندهدفه انتخاب و زمان‌بندی ارائه می‌شود که به ماکزیمم‌سازی ارزش کنونی خالص مورد انتظار و مینیمم‌سازی ارزش کنونی واریانس درآمد کل مورد انتظار پروژه‌های انتخابی می‌پردازد. با توجه به عدم قطعیت و خودهمبستگی درآمد هر دوره، پیش از مدل‌سازی مسئله، با استفاده از

شبیه‌سازی، متوسط ارزش نهایی درآمد کل هر پروژه و واریانس آن، برآورد می‌شود. برای در نظر گرفتن احتمال موفقیت پروژه‌ها نیز با رویکردی مشابه دیکینسون، سرنتون و گریو (۲۰۰۱)، با ضرب احتمال موفقیت هر پروژه در کل درآمد اکتسابی آن حاصل می‌شود. برای کنترل ریسک مواجهه با کمبود بودجه، تخصیص بودجه به صورت محدودیت احتمالی در مدل در نظر گرفته می‌شود. بنابراین، از تکنیک برنامه‌ریزی شانس برای تعیین معادله قطعی آن استفاده می‌شود. در پایان نیز با توجه به عدم کارایی روش‌های دقیق در یافتن پاسخ مناسب برای این مسئله برنامه‌ریزی غیرخطی، به‌ویژه در اندازه‌های بزرگ، روش‌های فراابتکاری ژنتیک، ازدحام ذرات و شبیه‌سازی تبرید ارائه و در نرم‌افزار متلب، کدنویسی می‌شوند. برای مقایسه الگوریتم‌ها، یک مثال فرضی با اندازه متوسط برای مسئله ارائه می‌شود. به منظور اعتبارسنجی الگوریتم‌ها نیز، جواب حاصل از آنها با حدود بالا و پایین مسئله مقایسه می‌شود. در نهایت مدل پیشنهادی برای یک مطالعه موردی ایجاد و با استفاده از الگوریتم‌های پیشنهادی حل می‌شود.

شرح مدل پیشنهادی

پارامترهای مدل در جدول ۱ آمده است.

جدول ۱. شرح پارامترها

پارامتر	شرح	پارامتر	شرح
R	نرخ بهره	F_i	برآورد ارزش نهایی درآمد کل پروژه i ام
T	افق برنامه‌ریزی	c_i	متغیرهای تصادفی نرمال برای هزینه سرمایه‌گذاری پروژه i ام
N	تعداد کل پروژه‌های کاندید	gg_{ij}	فاصله زمانی مجاز بین پایان پروژه i و شروع پروژه j
S	مجموعه پروژه‌های پیش‌نیاز	R_t	متغیرهای تصادفی نرمال برای حداکثر مقدار هزینه قابل قبول برای دوره t
D_i	طول عمر پروژه i	β	حداکثر ریسک قابل قبول برای اینکه هزینه‌های هر دوره از R_t بیشتر شود
P_i	احتمال موفقیت پروژه i ام		

متغیر تصمیم مسئله نیز x_{it} است که یک متغیر ۰-۱ است که چنانچه پروژه i ام در سال t پایان یابد، مقدار ۱ می‌گیرد و در غیر این صورت ۰ خواهد شد. مدل پیشنهادی نیز به شرح زیر است:

$$\max Z_1 = \sum_{i=1}^N \sum_{t=D_i}^T \frac{F_i \times P_i x_{it}}{(1+r)^t} - \sum_{i=1}^N \sum_{t=D_i}^T \frac{E(c_i) x_{it}}{(1+r)^{t-D_i}} \quad \text{رابطه (۱)}$$

$$\min Z_2 = \text{var} \left[\sum_{i=1}^N \sum_{t=1}^T \frac{F_i}{(1+r)^t} \times x_{it} \right]$$

$$P \left[\sum_{i=1}^N c_i \times x_{i(t+D_i)} \geq R_t \right] \leq \beta \quad \forall t = 1, 2, \dots, T \quad \text{رابطه (۲)}$$

$$\sum_{t=1}^T x_{it} \leq 1 \quad \forall i = 1, 2, \dots, N \quad \text{رابطه (۳)}$$

$$\sum_{t=1}^T (t - D_i) \times x_{it} \geq 0 \quad \forall i = 1, 2, \dots, N \quad \text{رابطه (۴)}$$

$$\sum_{t=1}^T x_{jt} \times \left[\sum_{t=1}^T (t + g_{it}) \times x_{it} \right] \leq \sum_{t=1}^T (t - D_j) \times x_{jt} \quad \forall (i, j) \in S(i, j) \quad \text{رابطه (۵)}$$

$$\sum_{t=1}^T x_{it} \geq \sum_{t=1}^T x_{jt} \quad \forall (i, j) \in S(i, j) \quad \text{رابطه (۶)}$$

$$\sum_{t=1}^T t x_{it} \leq T \quad \forall i = 1, 2, \dots, N \quad \text{رابطه (۷)}$$

تابع هدف مدل پیشنهادی شامل ماکزیم سازی ارزش کنونی سود مورد انتظار و مینیم سازی واریانس ارزش کنونی درآمد کل سبد پروژه های انتخابی است. رابطه ۲ بیان می کند که حداکثر ریسک قابل قبول برای تخطی از بودجه احتمالی در دسترس، برابر مقدار β است. رابطه ۳ بدین منظور نوشته شده است که زمان اتمام هر پروژه حداکثر به یک دوره از افق برنامه ریزی تخصیص یابد. رابطه ۴ نیز بیان می کند که در صورت انتخاب یک پروژه، زمان تکمیل آن باید حداقل بزرگ تر یا مساوی طول عمر آن باشد. معادلات ۵ و ۶ مربوط به روابط پیش نیازی بین پروژه ها هستند. رابطه ۷ نیز تضمین می کند که تمام پروژه ها در افق زمانی برنامه ریزی شده، به پایان برسند.

محدودیت ۲، مسئله را به یک مسئله برنامه‌ریزی احتمالی تبدیل کرده است، از این‌رو با استفاده از تکنیک برنامه‌ریزی شانس، فرم قطعی رابطه ۲، به صورت زیر تعیین می‌شود، که در آن σ_i^2 واریانس هزینه پروژه i ام و $\sigma_{R_t}^2$ واریانس بودجه دوره t ام است.

$$\sum_{i=1}^N E(c_i) \times x_{t(t+D_i)} \leq E(R_t) \quad \text{رابطه ۸}$$

$$-K_\beta \sqrt{\sum_{i=1}^N (\sigma_i^2 x_{i(t+D_i)}^2)} + \sigma_{R_t}^2 \quad \forall = 0, 1, \dots, T$$

الگوریتم‌های فراابتکاری پیشنهادی

برای حل این مسئله بهینه‌سازی چندهدفه، از روش مجموع وزین استفاده می‌شود. از این‌رو نخست تمام توابع به مینیمم‌سازی تبدیل می‌شوند. به این منظور تابع هدف ماکزیمم، در عدد منفی یک ضرب شده و به مسئله مینیمم‌سازی تبدیل می‌شود. علاوه بر این، با توجه به اینکه مقیاس توابع هدف، با یکدیگر متفاوت است، برای استفاده از تکنیک مجموع وزین باید بی‌مقیاس شوند. به این منظور از رابطه زیر برای تبدیل توابع هدف استفاده می‌شود (رائو و فریهیت، ۱۹۹۱):

$$\min Z = W \left(\frac{Z_2 - Z_2^*}{Z_2' - Z_2^*} \right) + (1 - W) \times \left(\frac{-Z_1 - (-Z_1^*)}{Z_1' - (-Z_1^*)} \right) \quad \text{رابطه ۹}$$

در رابطه مذکور Z_i^* مقدار بهینه و ایده‌آل تابع هدف i ام و Z_i' بدترین مقدار آن است.

الگوریتم ازدحام ذرات

با توجه به کارایی الگوریتم ازدحام ذرات در مسئله ساده انتخاب پروژه (ژو، وانگ، وانگ و چن، ۲۰۱۱)، اکنون برای مدل پیشنهادی این پژوهش، که یک مسئله برنامه‌ریزی چندهدفه صفر و یک غیرخطی است، ارائه می‌شود. چنانچه N تعداد کل پروژه‌های کاندید باشد، برای این مسئله هر ذره، به صورت یک ماتریس $2 \times N$ تعریف می‌شود که متشکل از یک سری اعداد تصادفی بین صفر و یک است. با مرتب کردن سطر اول هر ذره، یک جایگشت تصادفی از پروژه‌ها تولید خواهد شد، که ترتیب شروع پروژه‌ها را معین می‌کند. سپس الگوریتم براساس این ترتیب زمان

شروع پروژه‌ها را تعیین می‌کند. با گرد کردن اعداد سطر دوم هر ذره، یک رشته اعداد تصادفی صفر و یک به اندازه $1 \times N$ خواهیم داشت، که در آن چنانچه مقدار ستون i ام صفر (یک) باشد، به معنای انتخاب نشدن (انتخاب شدن) پروژه i ام است. عناصر سطر اول را متغیر X_i و سطر دوم را متغیر Y_i می‌نامیم. سپس الگوریتم، هر ذره را به گونه‌ای که در محدودیت‌های مدل صدق کند، اصلاح می‌کند و پروژه‌های منتخب را به همراه زمان شروع آنها برای هر ذره از جمعیت تعیین می‌کند.

در هر سه الگوریتم پیشنهادی، تابع برازندگی مینیمم‌سازی واریانس ارزش کنونی درآمد کل و ماکزیمم‌سازی ارزش کنونی خالص پروژه‌های انتخابی به صورت زیر تعریف می‌شود:

$$Z_1 = \sum_{i \in q} \frac{F(i) \times P(i)}{(1+r)^{FT(i)}} - \sum_{i \in q} \frac{E(c(i))}{(1+r)^{ST(i)}} \quad \text{رابطه ۱۰}$$

$$Z_2 = \sum_{i \in q} \frac{\sigma F(i) \times Y(i)^2}{(1+r)^{2FT(i)}} \quad \text{رابطه ۱۱}$$

در روابط مذکور، q مجموعه پروژه‌های انتخابی، $ST(i)$ و $FT(i)$ زمان‌های شروع و پایان پروژه i ام و $\sigma F(i)$ نیز واریانس ارزش نهایی درآمد پروژه i است. تابع برازندگی کلی نیز با استفاده از رابطه ۹ محاسبه می‌شود.

الگوریتم شبیه‌سازی تبرید

الگوریتم شبیه‌سازی تبرید نیز، برای مسئله بودجه‌بندی سرمایه عملکرد خوبی داشته است (فریدونی و مرادیان بروجنی، ۱۳۹۰). همچنین کاربرد وسیعی در حل مسائل زمان بندی پروژه با محدودیت منابع دارد. از این رو در این بخش کاربرد این الگوریتم برای مسئله برنامه‌ریزی عدد صحیح غیرخطی نمایش داده می‌شود. در این الگوریتم از یک ماتریس $2 \times N$ برای تولید جواب استفاده می‌شود، که سطر اول جایگشتی از پروژه‌ها و سطر دوم نیز شامل یک سری متغیرهای باینری، مربوط به انتخاب شدن یا نشدن پروژه‌هاست. برای تولید جواب همسایه نیز از عملگرهای جابه‌جایی^۱، وارونه‌سازی^۲ و انتقال^۳ استفاده می‌شود.

-
1. Swap
 2. Reversion
 3. Insertion

الگوریتم ژنتیک

با توجه به کاربرد وسیع این الگوریتم در مسائل مشابه، از آن برای حل این مسئله استفاده می‌شود. در اینجا هر کروموزوم مشابه جواب اولیه الگوریتم شبیه‌سازی تبرید که در قسمت قبل ذکر شد، یک ماتریس $2 \times N$ است. برای انتخاب والدین از روش چرخ گردان استفاده می‌شود. عملگر تقاطع نیز به صورت تقاطع تک‌نقطه‌ای، روی کروموزوم‌های والد اعمال می‌شود. به‌منظور اجرای عملگر جهش نیز یک والد انتخاب شده و عملگر جهش روی اولین رشته یعنی سری N تایی از اعداد ۰ و ۱ اعمال می‌شود. چنانچه مقدار ژن انتخاب‌شده برای اجرای جهش، عدد ۰ باشد، به ۱ تغییر می‌یابد و برعکس.

یافته‌های پژوهش

مقایسه الگوریتم‌ها

برای تشریح مدل و ارزیابی الگوریتم‌های پیشنهادی، در این بخش مثالی با چهارده پروژه کاندید، مدل‌سازی و با استفاده از الگوریتم‌های ازدحام ذرات، شبیه‌سازی تبرید و ژنتیک حل می‌شود. جدول ۲ اطلاعات پروژه‌ها را نشان می‌دهد. این اطلاعات با بررسی مسائل مشابه در ادبیات موضوع و براساس تجارب نویسندگان، تولید شدند.

مدرس و عباس‌زاده (۱۳۸۷)، کارایی روش اتورگرسیو را در پیش‌بینی سود سالانه بررسی کردند. از این‌رو در این پژوهش، فرض می‌شود درآمدهای پروژه‌ها از فرایند اتورگرسیو^۱ مرتبه دوم، مطابق رابطه ۱۲، پیروی می‌کنند که در آن a_t نرخ خطاست که دارای توزیع نرمال با میانگین صفر و واریانس معین است.

$$Z_{it} = \frac{3}{2}Z_{i(t-1)} - \frac{3}{4}Z_{i(t-2)} + a_t \quad \text{(رابطه ۱۲)}$$

در رابطه ۱۲، Z_{it} درآمد پروژه i ام در سال t است. درآمد دوره‌های اول و دوم هر پروژه نیز مطابق جدول ۲ است. از این‌رو با استفاده از شبیه‌سازی برآوردی از ارزش نهایی هر پروژه و واریانس آن محاسبه می‌شود. به این منظور از نرم‌افزار شبیه‌سازی ارنا ۱۰.۰، استفاده می‌شود. بنابراین جریان‌های نقدی هر پروژه شامل هزینه سرمایه‌گذاری در ابتدای پروژه و درآمد کل در انتهای دوره عمر آن می‌شود. جدول ۳، نتیجه ۶۰۰۰ تکرار شبیه‌سازی، برای برآورد ارزش نهایی درآمد هر پروژه و واریانس آن را نشان می‌دهد.

جدول ۲. اطلاعات پروژهها

پیش نیاز	احتمال موفقیت (درصد)	هزینه سرمایه گذاری (میلیون تومان)	درآمد دوره اول و دوم (میلیون تومان)	طول عمر (ماه)	پروژه
----	۸۰	N (۳۰، ۱/۰۹)	N (۳۰، ۱)	۲۱	۱
----	۹۰	N (۳۰، ۱/۲)	N (۳۰، ۲/۵)	۲۳	۲
----	۴۰	N (۶۰، ۳)	N (۴۰، ۳/۳۳)	۱۳	۳
----	۹۰	N (۲۲، ۰/۶)	N (۲۰، ۰/۸۲)	۱۱	۴
۱،۲،۴	۹۰	N (۱۰۰، ۱۵)	N (۹۰، ۷)	۱۵	۵
۲،۳،۴	۸۵	N (۱۴۸، ۱۴)	N (۱۲۰، ۵/۵)	۱۲	۶
۴	۶۰	N (۷۰، ۵۰)	N (۶۰، ۳)	۲۵	۷
----	۹۰	N (۵۸، ۱/۰۸)	N (۵۰، ۲/۲)	۱۰	۸
۵	۷۷	N (۶۰، ۳/۵)	N (۶۰، ۳)	۲۲	۹
۶،۷	۸۵	N (۴۰، ۳)	N (۳۵، ۱/۷۵)	۳۰	۱۰
۷	۹۳	N (۷۰، ۳/۵)	N (۶۲، ۳/۶)	۲۲	۱۱
۸	۸۸	N (۹۰، ۴/۵)	N (۶۹، ۳/۴۵)	۲۰	۱۲
۱۱	۷۶	N (۱۰۱، ۸)	N (۸۵، ۴/۲)	۱۳	۱۳
۱۲، ۱۳	۸۷	N (۱۰۲، ۱۵)	N (۵۵، ۳)	۲۳	۱۴

جدول ۳. نتایج شبیه سازی

پروژه	ارزش نهایی درآمد در انتهای عمر (میلیون تومان) ^۲	واریانس ارزش نهایی درآمد در انتهای عمر (میلیون تومان)	پروژه	ارزش نهایی درآمد در انتهای عمر (میلیون تومان) ^۲	واریانس ارزش نهایی درآمد در انتهای عمر (میلیون تومان)
۱	۴۲۹ / ۱۷۲	۲۳۲ / ۰۵۹	۸	۳۳۲۴ / ۲۴	۶۰۳ / ۷۸۳۲
۲	۵۱۸ / ۹۳۴	۹۴۲ / ۵۴۰	۹	۹۸۸۶ / ۹۰۱۶	۸۶۶۳ / ۵۸۸۶
۳	۲۵۹ / ۷۸۷	۱۱۸۴ / ۶۳۳	۱۰	۱۹۳۸ / ۲۴۸۲	۲۲۷۷۲ / ۳۳۰۵
۴	۱۰۲ / ۰۹۳	۹۷۴ / ۱۱۳	۱۱	۴۳۷ / ۲۳۶۵	۱۱۲۹۵ / ۹۶۹۸
۵	۷۳۶ / ۷۲۲	۹۰۰ / ۸۸۹	۱۲	۱۰۴۸۴ / ۹۴۰۸	۷۳۴۷ / ۶۹۵۵
۶	۶۸۸ / ۳۰۱	۵۵۱ / ۵۴۲	۱۳	۳۶۳۲ / ۲۸۰۰	۲۳۴۷ / ۵۲۸۵
۷	۲۵۷ / ۷۴۸	۹۵۰ / ۵۱۴	۱۴	۱۸۳۰۰ / ۰۸۳۲	۱۰۴۳۱ / ۲۹۲۶۸

در کلیه جدول‌ها، توزیع‌های نرمال با میانگین و انحراف معیار استانداردشان نمایش داده شده‌اند.

تأخیر زمانی برای تمام روابط پیش‌نیازی، ۰ است. افق زمانی نیز برابر ۱۰۰ ماه و نرخ بهره ۱۰ درصد است. بودجه ماهانه نیز مطابق جدول ۴ است.

جدول ۴. بودجه ماهانه

ماه	ماه	ماه	ماه	ماه	ماه	ماه	ماه
۱۰۰-۷۱	۷۰-۶۱	۶۰-۴۱	۴۰-۳۱	۳۰-۲۱	۲۰-۱۱	۱۰-۰	بودجه
$N(۱۰۰, ۸)$	$N(۲۰۰, ۸)$	$N(۱۰۰, ۱۲/۲۵)$	$N(۷۰, ۷)$	$N(۲۰۰, ۹)$	$N(۶۰, ۸)$	$N(۵۰, ۹)$	بودجه ماهانه

سپس به منظور نرمال‌سازی توابع هدف، مقدار ایده‌آل و نیز بدترین مقدار تابع هدف هر یک از توابع Z_1 و Z_2 محاسبه می‌شود. برای تابع ماکزیم‌سازی سود، مقدار ایده‌آل و غیرایده‌آل به ترتیب با استفاده از حدود بالا و پایین، تخمین زده می‌شود. برای تابع مینیم‌سازی واریانس، بدترین و بهترین مقدار، به ترتیب با استفاده از حد بالا و پایین تخمین زده می‌شوند. ابتدا حد بالا برای تابع ماکزیم‌سازی سود محاسبه می‌شود.

همان‌طور که گفتیم، پس از برآورد درآمد کل هر پروژه، جریان‌های نقدی هر پروژه شامل هزینه سرمایه‌گذاری در ابتدای پروژه و درآمد کل در انتهای دوره عمرش است. از این‌رو برای سادگی محاسبات، هزینه سرمایه‌گذاری هر پروژه نیز با در نظر گرفتن ارزش زمانی پول به انتهای دوره عمر خود انتقال می‌یابد و مقدار آن از برآورد درآمد محاسبه شده کم می‌شود. بنابراین جریان نقدی هر پروژه شامل ارزش نهایی سود هر پروژه است. یک حالت ایده‌آل برای محاسبه حد بالا این است که تمام پروژه‌های اقتصادی در زودترین زمان ممکن پایان یابند که در آن زودترین زمان ممکن برای شروع پروژه‌ها با استفاده از روش مسیر بحرانی^۱ و بدون احتساب محدودیت بودجه محاسبه می‌شود و مقدار آن مطابق جدول ۵ است، که در آن مقدار ارزش کنونی خالص هر پروژه در صورتی که در زودترین زمان ممکن شروع شود، محاسبه شده است. با نگاهی به جدول ۵، ملاحظه می‌شود پروژه‌های ۳، ۷ و ۱۴ غیراقتصادی‌اند، از این‌رو منطقی است که به جز این سه مورد، سایر پروژه‌ها انتخاب شوند.

از طرفی چنانچه هر یک از پروژه‌های حذف‌شده پس‌نیازهایی داشته باشند، پس‌نیاز آنها را نیز نمی‌توان انتخاب کرد. درحالی‌که ممکن است پروژه‌های پس‌نیاز سود زیادی داشته باشند. از این‌رو پیش از حذف آنها باید به این موضوع دقت شود.

جدول ۵. اطلاعات مورد نیاز برای محاسبه حد بالا

پروژه	زودترین زمان اتمام	ارزش کنونی سود	پروژه	زودترین زمان اتمام	ارزش کنونی سود
۱	۲۱	۱۶/۳۹۵۴	۸	۱۰	۲۲/۵۲۱۹
۲	۲۳	۲۲/۱۵۸۲	۹	۶۰	۰/۷۷۹۵
۳	۱۳	-۲۹/۸۹۹۶	۱۰	۶۶	۰/۵۷۲۸
۴	۱۱	۱۰/۲۰۴۷	۱۱	۵۸	۱/۳۳۵۷
۵	۳۸	۶/۵۵۸۷	۱۲	۳۰	۱۰/۷۳۴۳
۶	۳۵	۴/۲۹۰۳	۱۳	۷۱	۰/۰۸۱۱
۷	۳۶	-۰/۱۲۲۳	۱۴	۹۴	-۰/۰۱۱۱

در مورد پروژه ۳، ضرر آن بسیار بیشتر از سودی است که از پروژه‌های ۶ و ۱۰ که پس‌نیاز
 آند، به‌دست می‌آوریم، از این‌رو منطقی است پروژه ۳ و پس‌نیازهای آن انتخاب نشود.
 پروژه ۱۴ نیز پس‌نیازی ندارد، بنابراین با انتخاب این پروژه فقط ضرر می‌کنیم، بنابراین از
 سبد پروژه انتخابی حذف می‌شود. با توجه به اینکه پروژه‌های ۳، ۶، ۱۰ و ۱۴ حذف شده‌اند، در
 صورت حذف پروژه ۷، پروژه‌های ۱۱ و ۱۳ (که پس‌نیاز ۱۱ است)، حذف خواهند شد. سود ناشی
 از پروژه‌های ۱۱ و ۱۳ و ضرر پروژه ۷ را می‌توان در جدول ۵ مشاهده کرد. با توجه به اینکه ضرر
 ناشی از پروژه ۷ کمتر از سود ناشی از پروژه‌های ۱۱ و ۱۳ است، بهتر است که پروژه‌های ۷، ۱۱
 و ۱۳ حذف نشوند. از این‌رو حد بالای پیشنهادی با انتخاب تمام پروژه‌ها (به‌جز ۳، ۶، ۱۰ و ۱۴) و
 اتمام آنها در زودترین زمان‌های مشخص شده در جدول ۵ و با تابع هدفی معادل $۹۰/۶۴۷۳$
 محاسبه می‌شود.

حد پایین برای مسئله ماکزیم‌سازی سود، برابر $۳۰/۰۳۳$ است که از انتخاب تمام
 پروژه‌های غیراقتصادی یعنی، ۳، ۷ و ۱۴ و اتمام آنها در زودترین زمان ممکن، به‌دست می‌آید.
 حد پایین مسئله مینیم‌سازی واریانس ارزش کنونی درآمد نیز ۰ خواهد بود، زیرا می‌توان
 هیچ پروژه‌ای را انتخاب نکرد و هزینه‌ای را هم متحمل نشد. حد بالای آن نیز می‌تواند با انتخاب
 تمام آنها، در زودترین زمان ممکن محاسبه شود که در این صورت مقدار تابع هدف، برابر
 $۵۴۵/۸۳۱۱$ خواهد بود.

با داشتن این اطلاعات می‌توان به حل مسئله انتخاب و زمان‌بندی سبد پروژه، با استفاده از
 الگوریتم ازدحام ذرات، شبیه‌سازی تبرید و ژنتیک پرداخت. به‌منظور تعیین پارامترها نیز از کد
 الگوریتم‌های شبیه‌سازی تبرید و ازدحام ذرات ارائه‌شده توسط کلامی هریس (۱۳۹۲)، برای

مسئله زمان بندی پروژه با محدودیت منابع، استفاده می شود. جدول های ۶ و ۷ پارامترهای مربوط را نشان می دهند. پارامترهای الگوریتم ژنتیک نیز مطابق جدول ۸ و برگرفته از پژوهش گل محمدی و پژوتن (۲۰۱۱)، برای مسائل انتخاب پروژه است. برای اجرای الگوریتم ها نیز نرم افزار MATLAB 7.11، به کار می رود.

جدول ۶. پارامترهای الگوریتم ازدحام ذرات

پارامترها الگوریتم	تعداد تکرار	جمعیت ذرات در هر تکرار	ضرایب شتاب	ضریب تخفیف
ازدحام ذرات	۱۰۰	۲۰	$C_1=0.5, C_2=1$	۰/۳

جدول ۷. پارامترهای الگوریتم شبیه سازی تبرید

پارامترها الگوریتم	تعداد تکرار حلقه اصلی	تعداد تکرار در هر دما	دمای اولیه	نرخ سرد شدن
شبیه سازی تبرید	۱۰۰	۵	۱۰	۰/۹۸

جدول ۸. پارامترهای الگوریتم ژنتیک

پارامتر الگوریتم	تعداد تکرار	اندازه جمعیت	نرخ تقاطع	نرخ جهش
ژنتیک	۱۰۰	۳۰	۰/۹	۰/۱

وزن هر تابع هدف، برابر ۰/۵ است. از این رو مقدار بهینه تابع هدف از رابطه ۹ محاسبه می شود. پس از حل مدل با استفاده از شبیه سازی تبرید، مقدار متغیرها به شرح زیر است:

$$X_{1,21}=1; X_{2,25}=1; X_{4,12}=1; X_{5,4}=1; X_{8,3}=1; X_{9,6}=1; X_{12,6}=1$$

سایر متغیرها صفرند. نتایج حل مدل با استفاده از ازدحام ذرات و ژنتیک مشابه جواب های مذکور است، با این تفاوت که پروژه ۱۲ در ماه ۶۰ و پروژه ۹ در ماه ۶۳ پایان می یابند. مقدار هر یک از توابع هدف و تعداد دفعات محاسبه تابع برازندگی و نیز زمان محاسبه تا زمانی که هر الگوریتم برای اولین بار به جواب مورد نظر رسیده است نیز در جدول ۹ مشاهده می شوند، که در آن کیفیت جواب محاسبه شده از طریق شبیه سازی تبرید از نظر زمان محاسبه و کیفیت بهتر است. به طور کلی مقایسه جواب حاصل از الگوریتم ها و حد بالای مسئله ماکزیم سازی سود،

مسئله چندهدفه انتخاب و زمان بندی سبد پروژه در شرایط ۴۸۳

نشان می دهد که تقریباً در هر سه جواب، ۴۰/۴۸ درصد از حداکثر سود مورد انتظار برآورد شده است. همچنین مقدار تابع هدف واریانس ارزش کنونی درآمد کل، نسبت به بدترین مقدار (حد بالا) محاسبه شده، عدد نسبتاً کوچکی است.

جدول ۹. نتایج کلی

زمان محاسبه (ثانیه)	تعداد دفعات محاسبه تابع برازندگی	تعداد تکرار	زمان اتمام کل (ماه)	تابع هدف واریانس	تابع هدف سود*	تابع هدف کلی	
۰.۲۱۲۹	۱۲۸	۲۷	۶۳	۱۹۶/۵۴۷۹	۵۳/۹۵۴۰	۰/۳۳۲۰۷	ژنتیک
۰/۴۶۷۲	۲۸۰	۱۳	۶۳	۱۹۶/۵۴۷۹	۵۳/۹۵۴۰	۰/۳۳۲۰۷	ازدحام ذرات
۰/۱۷۵۰	۵۶	۱۱	۶۲	۱۹۶/۵۴۵۲	۵۳/۹۵۶۶	۰/۳۳۲۰۶	شبیه سازی تبرید

* میلیون تومان

مطالعه موردی

در این بخش به منظور اعتبارسنجی مدل، در شرکت دانش بنیان پایافناوران فردوسی پیاده سازی می شود. این شرکت در سال ۱۳۸۹، در مرکز رشد دانشگاه فردوسی مشهد تأسیس شده و محصولات متنوعی را در حوزه الکترونیک و مکانیک نمونه سازی و تجاری سازی کرده است. اطلاعات مربوط به هفت پروژه کاندید در این شرکت در جدول ۱۰ آمده است.

جدول ۱۰. اطلاعات مطالعه موردی

ردیف	نام پروژه	احتمال موفقیت (درصد)	هزینه سرمایه گذاری*	طول عمر پروژه	روابط پیش نیازی
۱	سامانه اندازه گیری سطح مایعات	۰/۷	N (۵۰۰، ۵۰)	۵	---
۲	دستگاه اندازه گیری فشار کف پا (کلینیکی)	۰/۸	N (۲۰۰۰، ۲۰۰)	۵	---
۳	دستگاه کفی ساز کفش	۰/۶	N (۵۰۰، ۵۰)	۵	FS _{۲۳} (-۴)
۴	دستگاه اندازه گیری فشار کف پا (تحقیقاتی)	۰/۷	N (۲۰۰۰، ۲۰۰)	۵	FS _{۲۴} (-۳)
۵	تجهیز مراکز اسکن کف پا	۰/۸۵	N (۶۰۰، ۶۰)	۵	FS _{۲۵} (-۳)
۶	سامانه وزن سه حالت خودروها	۰/۶۵	N (۱۰۰، ۱۰)	۵	---
۷	سامانه وزن دقیق خودروها	۰/۸۵	N (۲۰۰، ۲۰)	۵	FS _{۲۷} (-۴)

* میلیون تومان

شایان ذکر است اطلاعات جدول ۱۰، از طریق مطالعه و بررسی اسناد شرکت، مانند برنامه‌ریزی‌های بلندمدت، میان‌مدت و کوتاه‌مدت، و نیز مصاحبه با مدیران و کارشناسان شرکت، اخذ شده است. به صورت دقیق‌تر می‌توان گفت که مقدار میانگین هزینه‌ها از اطلاعات موجود در طرح‌های مطالعات امکان‌سنجی فنی و اقتصادی پروژه‌ها به دست آمده است. همچنین براساس بررسی‌های پروژه‌های قبلی شرکت مشاهده شد که میزان هزینه واقعی پروژه‌ها حداکثر به اندازه ۳۰ درصد از میزان برآوردهای اولیه موجود در مطالعات امکان‌سنجی، انحراف داشتند. به عبارت دیگر، در صورت مدیریت صحیح پروژه‌ها، ۳۰ درصد در هزینه‌ها صرفه‌جویی شده و در حالت‌های نامطلوب نیز پروژه‌ها، ۳۰ درصد سرریز هزینه داشتند. از این رو مجموع انحراف‌های مثبت و منفی از میانگین تخمینی، حداکثر به اندازه ۶۰ درصد آن، برآورد می‌شود. بر پایه این اطلاعات و با در نظر گرفتن مقدار ۶۵٪ برای طول فاصله اطمینانی که از مجموع انحرافات مثبت و منفی از میانگین به دست می‌آید، این نتیجه حاصل می‌شود که انحراف معیار هزینه پروژه‌های کاندید برابر با ۰/۱ میانگین تخمینی است.

درآمد سالانه به میزان تولید سالانه وابسته است. از این رو براساس مطالعات امکان‌سنجی انجام گرفته در این شرکت و بر طبق نظر کارشناسان درآمد سالانه پروژه‌ها از الگوی اتورگرسیو مرتبه اول مطابق رابطه ۱۳ پیروی می‌کند.

$$Z_{it} = 1/2Z_{i(t-1)} + \alpha_t \quad \text{رابطه ۱۳}$$

نرخ خطا نیز $N(0, 1)$ است. نتایج ۵۰۰۰ تکرار شبیه‌سازی برای برآورد مقدار ارزش نهایی درآمد کل هر پروژه در جدول ۱۱ ملاحظه می‌شود. بودجه سال‌های اول و دوم $N(2000, 200)$ و برای بقیه سال‌ها $N(73, 73)$ است. نرخ بهره نیز ۱۰ درصد در نظر گرفته شده است. با توجه به ماهیت غیرخطی مدل پس از حل مدل با استفاده از نرم‌افزار لینگو، جواب بهینه محلی صفر حاصل می‌شود. از این رو با استفاده از الگوریتم‌های پیشنهادی، به حل این مسئله پرداخته می‌شود. جدول ۱۲، نتایج حل با استفاده از الگوریتم‌های پیشنهادی را نشان می‌دهد. متغیرهای غیرصفر نیز به شرح زیر است:

$$x_{15}=1 ; x_{65}=1 ; x_{76}=1 ;$$

با توجه به حجم کم مسئله، برای مطالعه موردی مذکور، کلیه الگوریتم‌ها در تکرار اول، به جواب نهایی رسیدند. با وجود این همان‌طور که توضیح داده شد، حل این مسئله با ابعاد کوچک نیز، با توجه به پیچیدگی مدل، از طریق نرم‌افزار لینگو امکان‌پذیر نیست و جواب بهینه محلی حاصل می‌شود. یکسان بودن جواب حاصل از هر سه الگوریتم نیز بیانگر کارایی یکسان آنها در

حل مسئله با ابعاد کوچک است. مشابه این نتیجه، در بخش مقایسه الگوریتم‌ها (جدول ۹) نیز ملاحظه شد، به طوری که هر سه الگوریتم به جواب‌های بسیار نزدیکی رسیدند.

جدول ۱۱. نتایج شبیه‌سازی مطالعه موردی

نام پروژه	سود سال اول*	ارزش نهایی درآمد در انتهای عمر*	واریانس ارزش نهایی درآمد در انتهای عمر**
سامانه اندازه‌گیری سطح مایعات	N (۷۵۰, ۷۵)	۶۵۶۹ / ۶۱۹	۴۴۲۰۸۸ / ۰۲
دستگاه اندازه‌گیری فشار کف پا (کلینیکی)	N (۱۰۰۰, ۱۰۰)	۸۷۵۹ / ۵۱۳	۷۸۶۳۴۳ / ۳
دستگاه کفی‌ساز کفش	N (۵۰۰, ۵۰)	۴۳۷۹ / ۷۳۶	۱۹۶۵۹۰ / ۲۶
دستگاه اندازه‌گیری فشار کف پا (مراکز تحقیقاتی)	N (۷۰۰, ۷۰)	۶۱۳۱ / ۶۴۱	۳۸۵۰۴۷ / ۵۶
تجهیز مراکز اسکن کف پا	N (۹۰۰, ۹۰)	۷۸۸۳ / ۵۵۵	۸۰۴۶۴۶ / ۶۷
سامانه وزن سه‌حالت خودروها	N (۲۰۰, ۲۰)	۱۷۵۱ / ۸۵۴	۳۱۵۰۵ / ۵۴
سامانه وزن دقیق خودروها	N (۶۰۰, ۶۰)	۵۲۵۵ / ۶۸۴	۲۸۳۱۶۶ / ۶

* میلیون تومان

** (میلیون تومان)^۲

جدول ۱۲. نتایج حل مطالعه موردی

زمان محاسبه (ثانیه)	تعداد تکرار	تعداد دفعات محاسبه تابع برازندگی	زمان اتمام کل (ماه)	تابع هدف واریانس	تابع هدف سود*	تابع هدف کلی
۰/۰۲۷۲۴۵	۱	۶	۶	۲۷۲۸۱۶/۴۲۴۳	۵۳۰۲/۳۷۱۸	۰/۴۲۵۵۴
۰/۱۸۲۴۰۰	۱	۱۲۰	۶	۲۷۲۸۱۶/۴۲۴۳	۵۳۰۲/۳۷۱۸	۰/۴۲۵۵۴
۰/۰۱۵۷۳۴	۱	۶	۶	۲۷۲۸۱۶/۴۲۴۳	۵۳۰۲/۳۷۱۸	۰/۴۲۵۵۴

* میلیون تومان

به منظور بررسی تأثیر محدودیت بودجه، چهار سناریو برای مسئله مذکور، در جدول ۱۳، تعریف می‌شود. در تمام سناریوها محدودیت افق زمانی، نادیده گرفته می‌شود. در سناریوی چهارم، متوسط بودجه در دسترس برابر با مجموع هزینه‌های تمام پروژه‌ها در نظر گرفته شده است. همان‌طور که نتایج حاصل از حل سناریوها در جدول ۱۳ نشان می‌دهد، حتی با افزایش متوسط بودجه در دسترس و نیز رهاسازی قید مربوط به اتمام پروژه‌ها در افق زمانی تعیین شده، کلیه پروژه‌ها انتخاب نمی‌شوند. با توجه به اینکه اهمیت مینیمم‌سازی واریانس و ماکزیمم‌سازی

سود یکسان در نظر گرفته شده است و نیز با توجه به واریانس زیاد پروژه ۲، انتخاب نشدن این پروژه و پس‌نیازهای آن (پروژه‌های ۳، ۴ و ۵) توجیه‌پذیر است.

جدول ۱۳. نتایج حاصل از حل سناریوهای ۱ تا ۴

سناریو	بودجه هر دوره	مقدار متغیرهای غیرصفر	تابع هدف واریانس	تابع هدف سود	تابع هدف کلی
۱	N (۲۰۰، ۲۰)	---	.	.	۰/۳۷۵۵۷
۲	N (۳۰۰، ۳۰)	$X_{۷۶}=1$	۱۰۲۳۷۲/۳۵۴۸۳۳۱۱۵	۲۹۴۶/۹۲۰۲۱	۰/۴۷۴۳۴
۳	N (۷۰۰، ۷۰)	$X_{۷۶}=1$	۲۷۲۸۱۶/۴۲۴۳	۵۳۰۲/۳۷۱۸	۰/۴۲۵۵۴
۴	N (۵۹۰۰، ۵۹۰)	$X_{۷۶}=1$	۲۷۲۸۱۶/۴۲۴۳	۵۳۰۲/۳۷۱۸	۰/۴۲۵۵۴

* میلیون تومان

نتیجه‌گیری و پیشنهادها

در بسیاری از پروژه‌های تحقیقاتی، به دلیل نداشتن اطلاعات کافی از گذشته آنها، امکان تعیین دقیق هزینه‌ها و درآمدها وجود ندارد. از این رو استفاده از مدل کمک می‌کند تا ریسک ناشی از کمبود بودجه از مقدار معینی بیشتر نشود، ضمن اینکه واریانس درآمد نیز به حداقل می‌رسد. علاوه بر این با توجه به اینکه احتمال موفقیت پروژه‌ها نیز در نظر گرفته شده است، می‌تواند برای پروژه‌هایی که ریسک ناشی از شکست آنها زیاد است، مانند پروژه‌های تحقیق و توسعه، مناسب باشد. برای حل این مدل نیز، الگوریتم‌های ازدحام ذرات و شبیه‌سازی تبرید و ژنتیک ارائه شد و کارایی آنها با چهارده پروژه فرضی آزمایش شد. نتیجه محاسبات سرعت همگرایی بیشتر الگوریتم شبیه‌سازی تبرید را نسبت به ازدحام ذرات نشان داد. این نتایج با نتایج تحقیق فریدونی و مرادیان بروجنی (۱۳۹۰)، مبنی بر سرعت همگرایی زیاد شبیه‌سازی تبرید مطابقت دارد. با وجود این الگوریتم ازدحام ذرات نیز عملکرد خوبی در یافتن جواب بهینه داشت که با نتایج تحقیق ژو، وانگ، وانگ و چن (۲۰۱۱) مبنی بر کارایی این الگوریتم برای مسئله برنامه‌ریزی غیرخطی انتخاب پروژه با اهداف چندگانه، همراستاست. برای تحقیقات آتی می‌توان مدل پیشنهادی را با استفاده از سایر الگوریتم‌های فراابتکاری مانند رقابت استعماری حل کرده و نتایج آن را با نتایج پژوهش حاضر مقایسه کرد. همچنین کاربرد روش پیشنهادی برای مطالعات موردی مشابه، در اندازه‌های بزرگ‌تر و نیز در نظر گرفتن فرضیات اضافی مانند سایر وابستگی‌های ممکن میان پروژه‌ها، برای تحقیقات آتی پیشنهاد می‌شود.

References

- Abbassi, M., Ashrafi, M. & Sharifi Tashnizi, E. (2014). Selecting balanced portfolios of R&D projects with interdependencies: A Cross-Entropy based methodology. *Technovation*, 34(1): 54–63.
- Baker, N. and Freeland, J. (1975). Recent advances in R&D benefit measurement and project selection methods. *Management Science*, 21(10): 1164-1175.
- Carazo, A. F., Gómez, T., Molina, J., Hernández-Díaz, A. G., & Guerrero, F. M. (2010). Solving a Comprehensive model for multi-objective project portfolio selection. *Computers & Operations Research*, 37(4): 630 – 639.
- Chen, J., & Askin, R. G. (2009). Project selection, scheduling and resource allocation with time dependent Returns. *European Journal of Operational Research*, 193(1): 23–34.
- Coffin, M. A. & Taylor, B. (1996). Multiple criteria R&D project selection & Scheduling using fuzzy logic. *Computers Operational Research*, 23(3): 207-220.
- Dickinson, M. W., Thornton, A. C., & Graves, S. (2001). Technology Portfolio Management: Optimizing Interdependent Projects over Multiple Time Periods. *IEE Transaction on engineering management*, 48(4): 518-527.
- Dorri, B., Asadi, B. & Mazaheri, S. (2015). A Project Portfolio Selection Model with Project Interaction & Resources Interdependency Consideration Using Artificial Neural Networks. *Journal of Industrial Management*. 7(1): 21-42. (in Persian)
- Fereydouni, S. and Moradian Boroujeni, P. (2012). A Fuzzy Simulated Annealing Model for Solving Chance Constrained Capital Budgeting Problem and Sensitivity Analysis of Parameters. *Quarterly Journal of Operational Research and Its Applications (Journal of Applied Mathematics)*, 8(4): 13-27. (in Persian)
- Ghasemzadeh, F., Archer, N., & Iyogun. (1999). A zero-one model for project portfolio selection and scheduling. *Journal of the Operational Research Society*, 50(7): 745-755.
- Golmohammadi, A., & Pajoutan, M. (2011). Meta heuristics for dependent portfolio selection problem considering risk. *Expert Systems with Applications*, 38(5): 5642–5649.
- Haug, X. and Zhao, T. (2014). Mean-chance model for portfolio selection based on uncertain measure. *Insurance: Mathematics and Economics*, 59: 243-250.
- JafarNejad, A. and Yousefi Zenouz, R. (2008). A Fuzzy Model of Ranking Risks at Petropars Company's Excavation of Oil Well Projects. *Journal of Industrial Management*, 1(1): 21-38. (in Persian)

- Kalami-haris, M. (2014, 1 January). Solving Resource Constrained Project Scheduling Problem (RCPSP) in Matlab Software [video file]. Video Posted to <http://www.matlabsite.com/503/mvror9102d-resource-constrained-project-scheduling-video-tutorial.html>. (in Persian)
- Karp, R. M. (Eds.). (1972). *Complexity of Computer Computation*. Yorktown Heights, NY: Miller.
- Liu, Sh. Sh., Wang, Ch-J. (2011). Optimizing project selection and scheduling problems with time-dependent resource constraints. *Automation in Construction*, 20(8): 110-1119.
- Modares, A. and Abbaszadeh, M. R. (2008). An Analytic Study on Effect of Predictive Ability of Accruals and Cash Flows on Predicted Earnings Quality. *Knowledge and Development*, 15(24): 205- 239. (in Persian)
- Mohaghar, A., Mehregan, M. R., Azar, A. & Motahari, N. (2015). Designing a Model for Selecting Construction Projects in Public Sector. *Journal of Industrial Management*. 6(4): 831-847. (in Persian)
- Molavi, F. (2014). *Proceedings of the 7th International Conference of Iranian Operations Research Society*. Semnan University, Semnan: Iran. (in Persian)
- Naderi, B. (2013). The Project Portfolio Selection and Scheduling Problem: Mathematical Model and Algorithms. *Journal of Optimization in Industrial Engineering*, 6(13): 65-72.
- Nikkahnasab, M. & Najafi, A. A. (2013). Project Portfolio Selection with the Maximization of Net Present Value. *Journal of Optimization in Industrial Engineering*, 6(12): 85-92.
- Pourkazemi, M. H., Fattahi, M., Mazaheri, S. and Asadi, B. (2013). Project Portfolio Optimization with Considering Interaction between Projects Using Imperialist Competitive Algorithm (ICA). *Journal of Industrial Management*, 5(1): 1-20. (in Persian)
- Rao, S. S., & Freiheit, T. I. (1991). A modified game theory approach to multiobjective optimization. *Journal of Mechanical Design*, 113(3): 286–291.
- Sefair, J. A. & Medaglia, A. L. (Eds.). (2005). *Proceedings of the Systems and Information Engineering Design Symposium*. Charlottesville, Virginia USA: Bass.
- Sun, H., Ma, T. (2005). A packing-multiple-boxes model for R&D project selection and scheduling. *Technovation*, 25(11): 1355-1361.
- Zhu, H., Wang, Y., Wang, K., & Chen, Y. (2011). Particle Swarm Optimization (PSO) for the constrained portfolio optimization problem. *Expert Systems with Applications*, 38(8): 10161–10169.