Journal of Structural and Construction Engineering, 9(9), 2022, pp. 103-120

Journal of Structural and Construction Engineering

www.jsce.ir

Cash Flow Optimization of Portfolio Considering Market Indices Using Genetic Algorithm and Particle Swarm Optimization

Reza Rajabi[1], Siamak Haji Yakhchali[2]*

1- Ph.D. Candidate of Construction Engineering and Management, Department of Civil Engineering, Science and Research Branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran

2- Assistant Professor, School of Industrial Engineering, College of Engineering, University of Tehran, Tehran, Iran

ABSTRACT

One of the main concerns of project based organizations in construction projects is to manage multiple projects in a portfolio simultaneously. Construction Portfolio management determines the best time and condition of starting and selling each project according to the financial need of the stakeholders. This paper aims to optimize the cash flow in construction portfolios considering market indices using meta-heuristic algorithms from the organization's point of view. In this research, a model was presented to simulate the conditions of the project portfolio and was optimized using genetic algorithm (GA) and particle swarm optimization (PSO). The inflation rate of construction and real estate during recession and expansion was considered to make the situation more real as well. To evaluate the model, a portfolio including five real selected projects in advance by an organization is optimized by the model. The results showed that the model and the optimization algorithms used in the model had an effective role in the arrangement and balancing of the portfolio. Moreover, conditions of the organization such as cash flow and market indices such as project construction inflation and real estate inflation during periods of recession and boom were also considered, which is almost impossible in traditional project portfolio management. Both algorithms came up with the same solution which showed that the result is valid, but the performance of the particle swarm optimization algorithm was better than the genetic algorithm in terms of program execution speed and speed of the final result. In comparison to an expert decision on balancing the portfolio, the algorithms found the solution with 33% better objective function values.

ARTICLE INFO

Receive Date: 23 October 2021
Revise Date: 12 February 2022
Accept Date: 16 February 2022

Keywords:
Portfolio Management
Optimization
Portfolio Balancing
Cash flow
Market Indices

All rights reserved to Iranian Society of Structural Engineering.

doi: https://doi.org/10.22065/jsce.2022.310778.2609

*Corresponding author: Siamak Haji Yakhchali
Email address: Yakhchali@ut.ac.ir

نشریه مهندسی سازه و ساخت
(علمی - پژوهشی)
www.jsce.ir

Journal of Structural and Construction Engineering
JSCE
نشریه علمی-پژوهشی مهندسی سازه و ساخت

بهینه‌سازی جریان نقدینگی سبد پروژه با درنظر گرفتن شاخص‌های بازار با استفاده از الگوریتم‌های ژنتیک و ازدحام ذرات

رضا رجبی[۱]، سیامک حاجی یخچالی[۲*]

۱- دانشجوی دکتری، گروه مهندسی و مدیریت ساخت، دانشکده عمران، واحد علوم و تحقیقات، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران

۲- استادیار، گروه مهندسی صنایع، پردیس دانشکده های فنی، دانشگاه تهران، تهران، ایران

چکیده

یکی از نگرانی های اصلی سازمان های پروژه محور در پروژه های ساخت، مدیریت چندین پروژه در یک سبد می باشد. مساله اصلی مدیریت سبد در پروژه های ساخت مشخص کردن زمان شروع و فروش پروژه ها با توجه به نیاز مالی برای رسیدن به اهداف استراتژیک می باشد. این مقاله بر آن است تا از دیدگاه سازمانی، جریان نقدینگی سبد پروژه های ساختمانی را با در نظر گرفتن شاخص های بازار و استفاده از الگوریتم های فرا ابتکاری بهینه کند. در این پژوهش مدلی جهت شبیه‌سازی شرایط سبد پروژه ها ارائه و به کمک دو الگوریتم فرا ابتکاری ژنتیک و ازدحام ذرات بهینه‌یابی شد. همچنین برای واقعی‌تر کردن شرایط، تورم های بخش های ساخت و مسکن در دوره‌های رکود و رونق نیز درنظر گرفته شد. به منظور ارزیابی مدل، سبدی متشکل از پنج پروژه واقعی درنظر گرفته و چیدمان سبد توسط الگوریتم‌های ژنتیک و ازدحام ذرات توسط مدل بهینه شد. نتایج به دست آمده، نشان داد که استفاده از این مدل و الگوریتم‌های بهینه‌یابی استفاده شده نقش موثری در بهینه کردن چینش پروژه ها و بالانس سبد دارند. علاوه بر آن شرایط سازمان از قبیل آورده نقدی و شرایط بازار مانند تورم ساخت پروژه‌ها و تورم مسکن در دوره‌های رکود و رونق نیز درنظر گرفته شد که این امر در حالت‌های مدیریت سنتی سبد پروژه تقریبا غیرممکن بوده. نتایج الگوریتم‌های بهینه‌یابی نشان داد که علی رغم این‌که هر دو الگوریتم به یک نتیجه واحد به عنوان جواب نهایی رسیدند، اما عملکرد الگوریتم بهینه سازی ازدحام ذرات از الگوریتم ژنتیک از نظر سرعت اجرای برنامه و سرعت رسیدن به نتیجه نهایی بهتر است. نتایج حاصل از الگوریتم به گونه‌ای است که در مقایسه با حالت سنتی که از نظر خبره استخراج شده است، ۳۳٪ بهبود را در تابع هدف نشان داد.

کلمات کلیدی: مدیریت سبد، بهینه‌یابی، متعادل‌سازی سبد، جریان نقدینگی، شاخص‌های بازار

سابقه مقاله:					
دریافت	بازنگری	پذیرش	انتشار آنلاین	چاپ	شناسه دیجیتال:
۱۴۰۰/۰۸/۰۱	۱۴۰۰/۱۱/۲۳	۱۴۰۰/۱۱/۲۷	۱۴۰۰/۱۱/۱۷	۱۴۰۱/۰۹/۳۰	doi: 10.22065/jsce.2022.310778.2609
					https://doi.org/10.22065/jsce.2022.310778.2609

*نویسنده مسئول: سیامک حاجی یخچالی

پست الکترونیکی: Yakhchali@ut.ac.ir

۱- مقدمه

پیچیدگی و تغییرات ناگهانی در شرایط بازار سبب شده است تا سازمان‌ها مجبور به مطالعه و برنامه‌ریزی استراتژیک شوند [۱]. در این بین، مدیریت سبد پروژه، راهی برای پیاده‌سازی برنامه‌ریزی استراتژیک سازمان است [۲]. هدف اصلی از مدیریت سبد پروژه، بهینه‌سازی زمان، هزینه، ریسک و کیفیت در راستای برآورده کردن اهداف سازمان است [۳]. اگرچه مدیریت سبد در ابتدا توسط سرمایه‌گذاران مالی استفاده شده است [۴و۵]، در سال‌های گذشته در سازمان‌های پروژه محور نیز مورد استفاده قرار گرفته است [۶]. همچنین، مدیریت سبد پروژه در سازمان‌های درگیر با پروژه‌های تحقیق و توسعه بسیار استفاده می‌شود [۷و۸]. یکی از رویکردهای مدیریت استراتژیک سبد پروژه، بهینه‌سازی جریان نقدی آن است [۹]. بهینه‌سازی جریان نقدی سبد پروژه سبب می‌شود تا ریسک‌های مالی پروژه کاهش و اهداف مالی پروژه محقق شود [۱۰-۱۲]. البته باید دقت کرد که در بهینه‌سازی جریان نقدی، مقادیر ورودی و خروجی جریان نقدی می بایست با توجه به ارزش روز محاسبه گردد [۱۳و۱۴].

پیشینه پژوهش

محققین بسیاری تحقیقات خود را در راستای ارائه و توسعه مدل‌هایی جهت متعادل‌سازی سبد پروژه‌ها ارائه داده‌اند. مدل ارائه شده توسط هر محقق، یک ویژگی منحصر به فرد را داراست. از جمله این تحقیقات می‌توان به مطالعه کین و همکاران [۱۵] اشاره کرد که مدل آن‌ها ریسک پروژه‌ها و نرخ بازگشت سرمایه به صورت غیرقطعی درنظر گرفته شده است. کومار و همکاران [۱۶] نیز مدلی را ارائه کرده‌اند که در آن از رویکرد بازه‌ای استفاده شده است. میتال و مهلاوات [۱۷] نیز یک مدل چند هدفه برای متعادل سازی مجدد پورتفولیوی پروژه های مالی با ترکیبی از هزینه معامله بر پایه تخفیف افزایشی تصاعدی ارائه داده‌اند. در این مطالعه ریسک، نرخ بازگشت سرمایه و نقدینگی[1] به عنوان معیارهای کلیدی پورتفولیوی پروژه های مالی در نظر گرفته شده است. در تحقیق دیگری درنوواک و رانکوویچ [۱۸]، به ارائه مدلی با ویژگی درنظرگرفتن ریسک بازار و مدل دیگری بر پایه مقدار بهینه معاوضه ریسک-بازگشت سرمایه ارائه کردند. وانگ و همکاران [۱۹] نیز مدلی برای متعادل‌سازی مجدد پورتفولیوی پروژه‌های مالی بر مبنای بهینه‌سازی معکوس با کمترین تعداد سرمایه گذاری ارائه دادند. در این مدل، زمان تنظیم پورتفولیو اولیه مشخص و سپس متعادل‌سازی آن انجام شده است. ویژگی دیگر این مدل، درنظرگیری جریمه و همچنین هزینه معامله[2] در متعادل‌سازی است. برخی مدل‌های دیگر نیز به صورت مدل‌های چندمعیاره در جهت متعادل‌سازی سبد پروژه‌ها ارائه شده اند [۲۰-۲۲].

یکی از مهم‌ترین فاکتورهای مدل‌های ارائه شده جهت بهینه‌سازی سبد پروژه، درنظر گیری ریسک پروژه‌ها است. ریسک پروژه‌ها نه‌تنها بر روی آن پروژه اثرگذار است، بلکه بر فاکتورهایی مانند زمان، جریان نقدی و نرخ بازگشت سرمایه سبد پروژه اثرگذار است. برخی محققین، تمرکز اصلی مدل خود را بر روی درنظرگیری این ریسک‌ها قرار داده‌اند [۲۳-۲۷]. درنظرگیری ریسک پروژه‌ها، سبب می‌شود تا مدل‌سازی انجام شده به واقعیت نزدیک‌تر شود. همچنین، انتخاب بهترین روش‌های تامین مالی پروژه نیز بسیار حائز اهمیت است. از این رو علوی پور و آردیتی [۲۸] مدلی را ارائه کردندکه هزینه تامین مالی را با در نظر گرفتن گزینه‌های مختلف تامین مالی و یک برنامه کاری با مدت زمان فعالیت عادی به حداقل می‌رساند. مدل پیشنهادی یک پیش‌بینی جریان نقدی بر اساس یک برنامه کاری ایجاد شده توسط روش مسیر بحرانی (CPM) ایجاد می‌کند.

با توجه به پیشینه تحقیق، مدل‌هایی جهت متعادل‌سازی سبد پروژه با درنظرگیری پارامترهایی مانند ریسک پروژه، نرخ بازگشت سرمایه، عدم قطعیت، جریمه و همچنین هزینه معامله ارائه شده است. اکثر مدل‌های ارائه شده در پروژه‌های غیرعمرانی و در بخش تحقیق و توسعه و یا سبد سهام بوده‌اند. از این رو خلاء تحقیقاتی در بخش متعادل‌سازی سبد پروژه‌های عمرانی در پژوهش‌های پیشین حس می‌شود. لذا، در این تحقیق، مدلی جهت متعادل‌سازی سبد پروژه با رویکرد پروژه‌های عمرانی درنظر گرفته شده است. مبنای بهینه‌سازی

[1] Liquidity
[2] Transaction Cost

سبد پروژه در این مدل، زمان شروع (مخارج) و زمان فروش (درآمد) پروژه‌ها است به طوری که جریان نقدینگی سبد پروژه بهینه شود. همچنین در این تحقیق، پارامترهای بازار مانند تورم ساخت مسکن و تورم ارزش مسکن درنظر گرفته شده تا نتایج مدل به واقعیت نزدیک‌تر شود. در این تحقیق، با توجه به وسیع بودن فضای جواب‌های ممکن در مدل، برای حل مدل از الگوریتم‌های فراابتکاری (الگوریتم ژنتیک و الگوریتم ازدحام ذرات) استفاده شده است تا پاسخ بهینه مدل یافته شود.

۲- مرور بر ادبیات

چیدمان بهینه پروژه‌ها در سبد پروژه از اهمیت بسیاری حائز اهمیت است. از این رو برخی محققین به حل مدل‌ها در جهت بهینه‌سازی سبد پروژه پرداخته‌اند. شیها و حسنا [۲۹] با استفاده از الگوریتم بهینه‌یابی ژنتیک چند هدفه مدلی را جهت بهینه‌سازی جریان نقدینگی ارائه کردند که در این مدل، پرداخت کارفرما به پیمانکار، پرداخت‌های پیمانکار به پیمانکاران فرعی و تامین‌کنندگان، و همچنین ترتیبات مالی پیمانکار با بانک‌ها را به‌عنوان شرایط اصلی پرداخت مدل‌سازی کردند. یوکانگ و همکاران [۳۰] با استفاده از الگوریتم‌های فراابتکاری، سبد حاوی چندین پروژه را به صورت بهینه زمان‌بندی کردند. هدف اصلی این تحقیق مثبت نگه‌داشتن جریان نقدینگی سبد پروژه است تا جریان نقدینگی سبد منفی نشود. رسلون و همکاران [۳۱] نیز با استفاده از الگوریتم‌های فراابتکاری، زمانبندی سبد پروژه را بهینه کرده تا مناسب‌ترین جریان نقدینگی برای کارفرما به وجود آید. علاوه بر الگوریتم‌های فراابتکاری، روش‌های دیگری نیز برای حل مدل‌های این نوع مسائل توسط محققین استفاده شده است که می‌توان به روش برنامه ریزی خطی و خطی عدد صحیح اشاره کرد [۳۲و۳۳].

الگوریتم ژنتیک، یکی از الگوریتم‌های جست و جوی هوشمند است که جهت بهینه یابی (کمینه و یا بیشینه) توابع استفاده می‌شود. پایه و اساس این الگوریتم، تولید جواب‌های جدید با استفاده ترکیب جواب‌های قدیمی به کمک عملگرهایی مانند آمیزش و جهش است [۳۴]. این الگوریتم در تحقیقات بسیاری مورد استفاده قرار گرفته و در بین محققین بسیار محبوب است و در زمینه‌های مختلفی استفاده می‌شود [۳۵]. این الگوریتم قابلیت بهینه‌سازی مقید را نیز دارد از این رو اسدوجامان و همکاران از این الگوریتم در جهت بهینه‌سازی جریان نقدی پروژه با محدودیت منابع پرداخته‌اند به طوری که منابع پروژه به صورت قید درنظر گرفته شده است.

الگوریتم ازدحام ذرات نیز یکی دیگر از دسته الگوریتم‌های جست و جوی هوشمند است که بر مبنای هوش تجمعی و رفتار هوشمندانه ذرات مانند ماهی‌ها و پرندگان ساخته شده است [۳۶]. این الگوریتم برای اولین بار در سال ۱۹۹۵ توسط کندی و ابرهارت [۳۷] جهت بهینه‌یابی توابع غیرخطی ارائه شد. سان و همکاران [۳۸] از این الگوریتم در جهت بهینه‌سازی هزینه مصالح لازم جهت ساخت پروژه استفاده کرده است. جلایی و همکاران [۳۹] نیز از با تغییرات جزئی در روند محاسبات این الگوریتم، نیاز مالی ایران را در دوره‌های مختلف زمانی پیش‌بینی کرده‌اند.

به طور کلی، با توجه به ماهیت پیچیده مدل‌های مربوط به مباحث مالی و همچنین فضای جست و جوی بسیار گسترده این مدل‌ها، محققین از الگوریتم‌های جست و جوی هوشمند در جهت حل آن استفاده کرده‌اند به طوری که الگوریتم‌های جست و جوی هوشمند به بخش جدایی ناپذیر حل مدل‌های ریاضی تبدیل شده‌اند. در این پژوهش نیز، برای حل مدل ارائه شده، از الگوریتم‌های ژنتیک و ازدحام ذرات استفاده شده است.

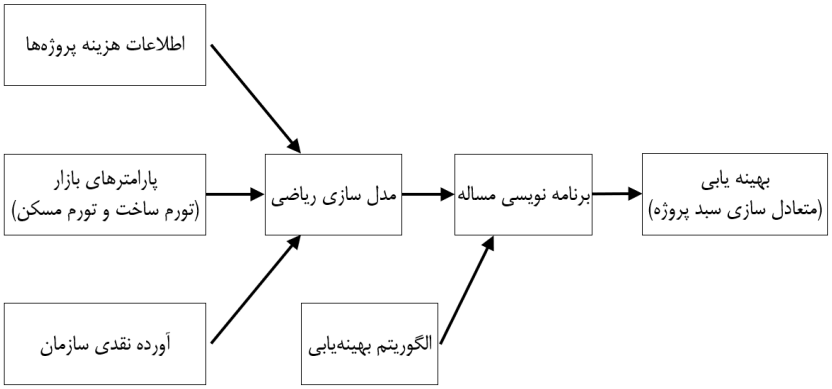
۳- روش تحقیق

با توجه به هدف تحقیق که متعادل‌سازی سبد پروژه با رویکرد جریان نقدی و درنظر گرفتن محدودیت‌های سازمان و شرایط بازار است، روش تحقیق به شرح مراحل زیر درنظر گرفته شده است.

- جمع‌آوری اطلاعات هزینه ماهانه پروژه‌های موجود در سبد
- مشخص کردن پارامترهای تاثیرگذار بازار (تورم ساخت مسکن و تورم فروش مسکن)

- تعیین میزان آورده نقدی اولیه سازمان
- مدل‌سازی ریاضی تحقیق
- انتخاب الگوریتم بهینه‌یابی مورد نظر
- برنامه نویسی مساله
- حل مساله (متعادل‌سازی سبد پروژه) و یافتن جواب بهینه

فلوچارت روش تحقیق مساله در شکل ۱ ارائه شده است.



شکل۱ : فلوچارت روش تحقیق مساله

با توجه به این‌که بهینه‌یابی حاضر در این تحقیق برمبنای جریان نقدی سبد پروژه است، اطلاعات هزینه ماهانه پروژه‌ها یا به عبارت دیگر جریان نقدی تمام پروژه‌ها باید جمع‌آوری شود.

پارامترهای بازار

می‌توان مهمترین عوامل اثرگذار بازار بر شرایط سبد پروژه سازمان‌ها را تورم بخش ساخت و بخش فروش مسکن دانست. تورم ساخت سبب افزایش هزینه‌های سازمان با تاخیر در شروع پروژه‌ها می‌شود به صورتی که هرچه پروژه‌ای دیرتر شروع شود، هزینه ساخت آن افزایش خواهد یافت. اما تورم بخش فروش مسکن به این صورت نیست. تورم مسکن بسیار متاثر از چرخه‌های رکود و رونق بازار مسکن است به طوری که در دوره‌های رکود، ماهانه قیمت مسکن کاهش یا ثابت و در دوره‌های رونق، قیمت مسکن افزایش می‌یابد. اگرچه در بلند مدت تورم دوره رونق بر تورم دوره رکود غالب می‌شود اما نمی‌توان این عامل را نادیده گرفت چرا که دوره‌های رونق و رکود بر زمان فروش پروژه‌ها و تامین مالی برای ساخت پروژه‌های دیگر بسیار اثرگذار است.

میزان آورده نقدی اولیه سازمان

کاملا واضح است که هیچ سازمانی بدون آورده نقدی نمی‌تواند سبد پروژه خود را شروع کند و برای شروع، نیازمند مبلغی است تا بتواند حداقل یک پروژه را در همان ابتدا شروع کند. با گذشت زمام و اتمام پروژه‌های شروع شده، این امکان برای سازمان وجود دارد که پروژه‌های پایان یافته را به فروش برساند و پروژه‌های جدید را با مبلغ به‌دست آمده از پروژه‌های فروخته شده، شروع کند. این میزان آورده نقدی برای هر سازمان متفاوت است. به طور واضح هرچه آورده نقدی سازمان بیشتر باشد، نیاز به فروش پروژه‌ها کمتر بوده و سازمان می‌تواند پروژه‌های تکمیل شده را در زمان مناسب‌تر به فروش برساند و سود بیشتری را کسب کند. اما در شرایطی که آورده نقدی سازمان

کافی نباشد، سازمان ممکن است مجبور شود تا به محض اتمام هر پروژه، آن را به فروش رسانده تا تامین مالی جهت پروژه‌های دیگر انجام شود.

مدل‌سازی ریاضی مساله

به منظور مدل‌سازی ریاضی مساله مورد نظر، در ابتدا می‌بایست سه بخش اصلی متغیرهای طراحی، قیود مساله و تابع هدف مساله مشخص شود. با مشخص شدن این سه بخش، مدل ریاضی مساله نوشته شده و به کمک یک الگوریتم بهینه یابی، نقطه بهینه مساله مشخص خواهد شد. در ادامه به بررسی سه بخش اصلی مدل بهینه یابی پرداخته شده است.

پارامترهای ذکر شده در این تحقیق به شرح جدول ۱ است که در ادامه مقاله از این پارامترها جهت مدل‌سازی استفاده شده است.

جدول۱ : پارامترهای مساله

پارامتر	توضیح	پارامتر	توضیح
i	اندیس زمان (ماه)	X_i	نسل قبلی
CC_i	جریان نقدی تجمعی در ماه i	X_{i+1}	نسل جدید
B_i	میزان آورده نقدی سازمان در ماه i	V_i	مقدار تغییر نسل قبلی برای رسیدن به نسل جدید
N	ماه انتهای سبد پروژه	W	وزن اثر تغییرات در نسل قبل
$CC_{i,j}$	جریان نقدی تجمعی پروژه j در ماه i	C_1 و C_2	وزن اثرگذاری جواب‌های بهینه کلی و بهینه مرحله آخر در تغییرات
J	تعداد پروژه‌های حاضر در سبد	r_1 و r_2	اعداد تصادفی
$X_{1,j}$	زمان شروع پروژه j	$X_{IterationBest}$	بهترین جواب در مرحله قبلی
$X_{2,j}$	زمان فروش پروژه j	$X_{GlobalBest}$	بهترین جواب کلی تا این مرحله
Dur_j	مدت زمان اجرای پروژه j	C	هزینه ساخت پروژه بر مبنای نرخ حال
S	مساحت زیر نمودار جریان نقدی سبد	C_i	هزینه ساخت پروژه در ماه t با درنظر گیری تورم

متغیرهای طراحی

پارامترهایی که برای تابع هدف مساله اثر گذار هستند، متغیرهای طراحی نامیده می‌شوند. خاصیت متغیرهای طراحی آن است که با مقدار گرفتن آنها، مساله مشخص شده و جوابی برای مساله یافت می‌شود. در واقع با تغییر در هریک از متغیرهای طراحی، مقدار تابع هدف مساله تغییر کرده و حالت دیگری از مساله مورد بررسی قرار خواهد گرفت.

هدف اصلی از بهینه یابی آن است که بهترین مقادیر برای متغیرهای طراحی یافت شود به گونه ای که تابع هدف مساله مینیمم یا ماکزیمم شود. با توجه به مفهوم مساله این تحقیق، هدف اصلی ماکزیمم سازی تابع هدف است.

در این تحقیق، با توجه به این که تابع هدف مساله بیشینه کردن سطح زیر نمودار منحنی جریان نقدینگی سبد پروژه است، متغیرهای طراحی، اطلاعات مربوط به خروج و ورود پول است که منحنی جریان نقدینگی را تشکیل می‌دهند. خروج پول از پورتفو زمانی اتفاق می‌افتد که نقدینگی در پروژه‌ها به منظور انجام پروژه خرج شود و ورود پول ناشی از فروش پروژه‌ها و کسب سود از آن‌ها است. با توجه به این امر که هزینه لازم برای ساخت پروژه‌ها به صورت ماهانه از طریق شبکه زمان بندی و برآورد هزینه مشخص است، کافی است تا زمان شروع هر پروژه مشخص شود تا قسمت مخارج سبد پروژه مشخص شود. به طور کلی متغیرهای طراحی این مساله زمان شروع و زمان فروش هریک از پروژه‌ها است.

متغیرهای طراحی میتوانند هر مقداری را داشته باشند. اگرچه میتوان برای آنها حد بالا و پایین درنظر گرفت. معمولا متغیرهای طراحی به صورت یک بردار به صورت زیر درنظر گرفته می‌شوند.

$$X = [X_1, X_2, \dots, X_{n-1}, X_n] \quad (1)$$

با توجه به این که در این مساله، متغیرهای طراحی زمان شروع و زمان فروش پروژه‌ها است، بردار متغیر طراحی به ماتریس دو سطری که سطر اول نمایانگر زمان شروع پروژه‌ها و سطر دوم نمایانگر زمان فروش پروژه‌ها است درنظر گرفته شده است. به عنوان مثال برای سبد دارای سه پروژه، بردار متغیرهای طراحی به صورت شکل ۲ درنظر گرفته شده است.

زمان شروع پروژه ها

$$X=[A_{1,1}, A_{1,2}, A_{1,3} \\ A_{2,1}, A_{2,2}, A_{2,3}]$$

زمان فروش پروژه ها

شکل ۲ : شماتیک متغیر مساله با درنظر گیری ۳ پروژه

در شکل ۲، با توجه به این که سه پروژه فرضی درنظر گرفته شده است، سه زمان شروع و سه زمان فروش پروژه‌ها به عنوان متغیر طراحی بر تابع هدف اثرگذار است.

قیود طراحی

در مسائل بهینه سازی، علی رغم این که متغیرهای طراحی بر مبنای بهینه کردن تابع هدف مساله تعیین می‌شوند، اما باید برخی نیازها را نیز ارضا کنند. این نیازها که لازم است به آنها توجه ویژه ای شود، قیود طراحی نامیده می‌شوند. در مساله بهینه سازی سبد پروژه نیز قیودی وجود دارند که باید مورد توجه قرار گیرند.

در تحقیق حاضر، قید هایی برای به دست آوردن حالت بهینه زمان شروع و زمان فروش پروژه‌ها درنظر گرفته شده است. مهمترین این قیود عبارت است از، درنظر گیری بودجه اولیه سازمان برای شروع سبد پروژه. هر سازمان برای شروع یک سبد پروژه، مبلغی را به عنوان آورده ابتدایی پروژه درنظر خواهد گرفت تا با آن پروژه یا پروژه هایی را شروع کند و ادامه نقدینگی لازم را از فروش پروژه های اتمام یافته تامین کند. برای درنظر گرفتن این قید، لازم است تا بیشینه تراز منفی در نمودار جریان نقدینگی از آورده سازمان جهت اجرای پورتفولیو کمتر باشد. به عبارت دیگر، بیشینه جریان منفی (هزینه ها) از آورده نقدی تجاوز نکند. این قید به صورت رابطه ۲ ارائه شده است.

$$\forall i \in \{1..N\} \quad CC_i \geq B_i \qquad \text{i=1, 2, 3, …, N} \qquad (۲)$$

دلیل این که میزان آورده نقدی سازمان در هر ماه درنظر گرفته شده است این است که ممکن است سازمان آورده خود را به صورت یکجا در ابتدای شروع پورتفولیو وارد نکند و به مرور زمان وارد کند.

همانطور که در جدول ۱ ذکر شد، مقدار CC_i جریان نقدی تجمعی سبد پروژه در ماه i ام است. این مقدار برابر با جمع جریان نقدی تمام پروژه‌ها در ماه i است که میتواند ناشی از هزینه به منظور ساخت و یا درآمد از محل فروش پروژه باشد. محاسبه CC_i در رابطه ۳ ارائه شده است.

$$CC_i = \sum_{j=1}^{J} (CC_{i,j}) \qquad (۳)$$

قید مهم دیگری که باید درنظر گرفته شود این است که زمان فروش پروژه‌ها باید پس از اتمام آن پروژه درنظر گرفته شود. زمان اتمام پروژه برابر است با زمان شروع پروژه به علاوه مدت زمان لازم جهت اجرای آن پروژه. این قید در رابطه ۴ ارائه شده است.

$$\forall j \in \{1..J\} \quad X_{2,j} \geq X_{1,j} + Dur_j \qquad (۴)$$

قید دیگری که باید درنظرگرفت، مدت زمان نهایی برای بستن سبد پروژه است. با توجه به این امر که نمی‌توان سبد پروژه را بی‌نهایت ادامه داد، زمانی را برای بستن سبد باید درنظر گرفت که تا آن زمان تمامی پروژه‌ها باید ساخته و فروخته شده باشند. این قید در رابطه ۵ ارائه شده است.

$$\forall i \in \{1..n\} \quad n \leq N \qquad (۵)$$

لازم به ذکر است که مقدار پارامتر N (مدت زمان نهایی سبد پروژه) با سیاست های سازمان درنظر گرفته خواهد شد.

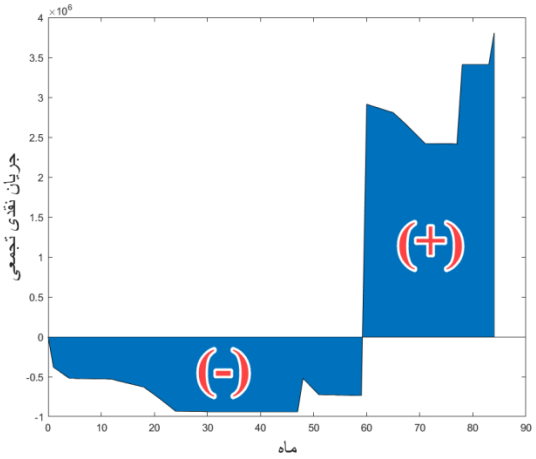
تابع هدف

تابع هدف اغلب به صورت هزینه پروژه و یا سود پروژه درنظر گرفته می‌شود. اما در این مساله با توجه به این نکته که کل مدت زمان سبد پروژه مد نظر است و با مصاحبه با خبرگان بنا بر این شد تا تابع هدف مساله، سطح زیر نمودار جریان نقدینگی درنظر گرفته شود. در نمودار جریان نقدینگی، مخارج به صورت منفی و درآمدها با علامت مثبت ظاهر خواهند شد. طولانی شدن مدت زمانی که جریان نقدی پروژه زیر تراز صفر قرار داشته باشد (جریان منفی) فشار مالی زیادی را بر ذی نفعان پروژه وارد خواهد کرد. از طرف دیگر، هرچقدر جریان نقدی مثبت در مدت زمان بیشتری برای پروژه موجود باشد، ذی نفعان با خیال آسوده می توانند تصمیمات استراتژیک خود را گرفته و از جریان نقدی مثبت حتی در پروژه های دیگر نیز استفاده کنند.

در این پژوهش برای محاسبه مساحت زیر نمودار جریان نقدینگی، از روش مساحت گیری ذوزنقه ای استفاده شده است. فرمول محاسبه مساحت زیر نمودار جریان نقدینگی مطابق رابطه ۶ است.

$$S = \sum_{i=1}^{n} [(CC_i + CC_{i+1})/2] 1 \times \qquad (۶)$$

توضیح آن که سطح زیر نمودار منحنی جریان نقدینگی که به صورت ماهانه است به ذوزنقه هایی با قاعده ۱ و ارتفاع هایی برابر با مقدار تجمعی جریان نقدی سبد در دو ماه متوالی تقسیم شده و مساحت هر ذوزنقه محاسبه و با جمع مساحت ها، مساحت زیر نمودار جریان نقدینگی محاسبه می‌شود. لازم به ذکر است که از آنجایی که مقدار جریان نقدی تجمعی در زمان هایی که مخارج بیشتر از درآمدها بوده است منفی است، مساحت نیز منفی درنظر گرفته شده است. نمایش گرافیکی تابع هدف در شکل ۳ ارائه شده است.



شکل ۳ : تابع هدف مساله

با توجه به تابع هدف و قید های ذکر شده، فرمول بندی مساله به شرح زیر است:

$$Max \quad S = \sum_{i=1}^{n} [(CC_i + CC_{i+1})/2] 1 \times$$

Subject to:

$CC_i = \sum_{j=1}^{J}(CC_{i,j})$

$\forall i \in \{1..n\}$ $CC_i \geq B_i$ i=1, 2, 3, …, N

$\forall j \in \{1..J\}$ $X_{2,j} \geq X_{1,j} + Dur_j$ j=1, 2, 3, …, J

$\forall i \in \{1..n\}$ $n \leq N$ i=1, 2, 3, …, N

مساله حاضر، بسیار شبیه به مساله زمان‌بندی کار فروشگاهی[3] است. در مساله زمان‌بندی کار فروشگاهی، تعداد m فعالیت میبایست به ترکیبی از k کارگر تخصیص داده شود تا زمان انجام مجموعه فعالیت‌ها بهینه شود. در مساله حاضر نیز، ماه‌های موجود در خط زمانی به عنوان کارگرها درنظر گرفته شده که شروع و زمان فروش هر پروژه میبایست به یکی از ماه‌ها تخصیص داده شود. همچنین، مساله حاضر نسبت به مساله JSP پیچیده‌تر است چرا که چندین پروژه می‌توانند در یک ماه شروع و یا فروخته شوند (مصداق این امر که در مساله JSP چندین فعالیت توسط یک کارگر انجام شود). با توجه به این امر که مساله JSP یک مساله NP-Complete است، نتیجه می‌شود که مساله حاضر نیز یک مساله NP-Complete است که سبب می‌شود حل آن توسط الگوریتم‌های کلاسیک مانند برنامه ریزی خطی و برنامه ریزی غیرخطی امکان‌پذیر نباشد. لذا محققین این تحقیق برای حل این مساله از الگوریتم‌های بهینه سازی استفاده کرده که در ادامه به آن‌ها پرداخته شده است.

۴- الگوریتم بهینه سازی

در این تحقیق، از نتیچدو الگوریتم بهینه سازی ژنتیک[4] (GA) و الگوریتم ازدحام ذرات[5] (PSO) به منظور یافتن پاسخ بهینه مساله استفاده شده است. در ادامه مراحل و فلوچارت الگوریتم های ذکر شده ارائه شده است. لازم به ذکر است که شرط توقف الگوریتم های بهینه یابی، تعداد تکرار مورد نظر درنظر گرفته شده است.

الگوریتم ژنتیک

الگوریتم ژنتیک را می‌توان اولین الگوریتم تکاملی برای حل مسائل بهینه سازی دانست. ایده کلی الگوریتم ژنتیک از تکامل ژنتیک در موجودات زنده است. مراحل این الگوریتم به شرح زیر است:

۱- حدس یک مجموعه جواب اولیه به عنوان نسل اول

۲- محاسبه تابع هدف برای جواب ها

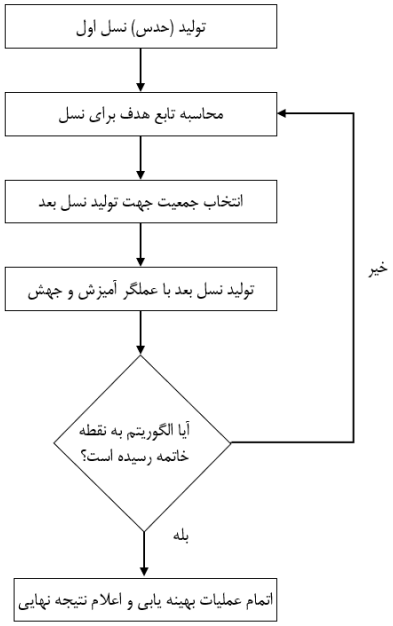
۳- انتخاب برخی از جواب‌ها جهت تولید جواب های ثانویه

۴- تولید جواب های نسل بعد

۵- تکرار مراحل ۲ تا ۴ تا رسیدن به نقطه اتمام

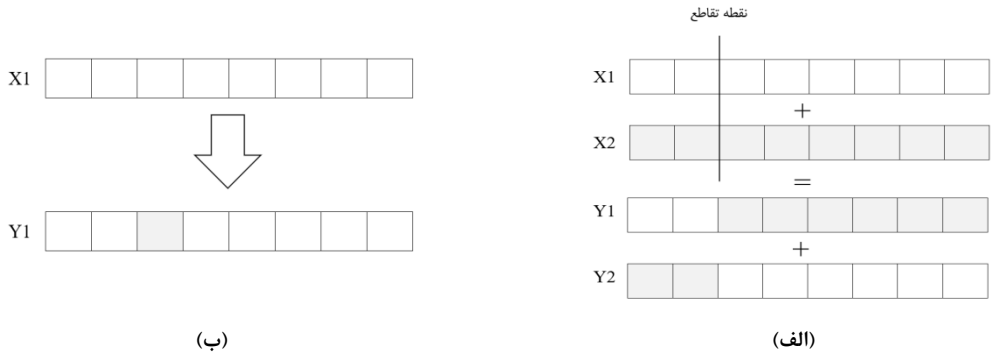
فلوچارت الگوریتم ژنتیک در شکل ۴ ارائه شده است.

[3] Job-Shop Problem (JSP)
[4] Genetic Algorithm
[5] Particle Swarm Algorithm



شکل ۴ : فلوچارت الگوریتم ژنتیک.

در الگوریتم ژنتیک، انتخاب جمعیت جهت تولید نسل بعدی به صورتی انجام می‌شود که جواب هایی که تابع هدف بهتری دارند، شانس بیشتری جهت انتخاب شدن برای عملگر های آمیزش و جهش داشته باشند تا شانس رسیدن به جواب بهتر، بیشتر شود. عملگر آمیزش و جهش به صورت شماتیک در شکل ۵ ارائه شده است.



شکل ۵ : شماتیک عملگر آمیزش (الف) و جهش (ب) در الگوریتم ژنتیک.

الگوریتم ازدحام ذرات

الگوریتم ازدحام ذرات یکی از قدرتمند ترین الگوریتم های تکاملی برای بهینه یابی مسائل است. این الگوریتم هر نسل را با توجه به جواب بهینه همان نسل و جواب بهینه کل نسل‌ها به روز رسانی کرده تا جواب های بهتری را پیدا کند. مراحل این الگوریتم به شرح زیر است:

۱- حدس یک مجموعه جواب اولیه به عنوان نسل اول

۲- محاسبه تابع هدف برای جواب ها

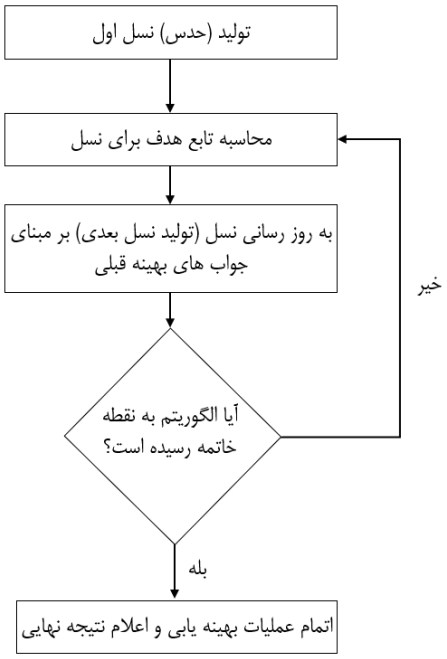
۳- به روز رسانی کردن نسل بر مبنای بهترین جواب این نسل و بهترین جواب تمام نسل ها

۴- تکرار مراحل ۲ و ۳ تا رسیدن به نقطه اتمام

فلوچارت این الگوریتم در شکل ۶ ارائه شده است.

روند به‌روز رسانی در این الگوریتم به گونه‌ای است که در هر تکرار، بهترین جواب به دست آمده تا این مرحله را به عنوان بهترین جواب کلی و بهترین جواب مربوط به مرحله آخر را به عنوان بهترین جواب جزئی انتخاب کرده و جواب‌های هر نسل را به سمت این دو جواب انتخاب شده حرکت می‌دهد تا بتواند جواب‌های بهتری را پیدا کند. نحوه این حرکت در رابطه ۷ ارائه شده است.

$$X_{i+1} = X_i + V_i$$
$$V_i = W \times V_{i-1} + C_1 r_1 (X_{GlobalBest} - X_i) + C_2 r_2 (X_{IterationBest} - X_i) \quad (۷)$$



شکل ۶ : فلوچارت الگوریتم ازدحام ذرات.

۵- مطالعه موردی

در این بخش، یک سبد پروژه متشکل از ۵ پروژه ساختمانی به عنوان مساله درنظر گرفته شده و با روش ارائه شده مدل سازی و به کمک ۲ الگوریتم ذکر شده بهینه یابی شده‌اند. پروژه های انتخاب شده از نوع پروژه ساختمانی و مدت زمان هر کدام ۳۰ ماه تخمین زده شده است.

فرضیات مساله

به منظور شبیه سازی شرایط واقعی پروژه های ساختمانی در ایران، فرضیاتی به شرح زیر درنظر گرفته شده اند:

۱- **نرخ تورم مصالح و ساخت:** هزینه پیش بینی شده برای انجام پروژه‌ها در طول روند ساخت بر مبنای هزینه مصالح و ساخت حال حاضر است. اما این مساله وجود دارد که هزینه با گذشت زمان به دلیل تورم افزایش خواهد یافت. با توجه به داده های ارائه شده توسط بانک مرکزی، نرخ تورم مصالح و ساخت برابر با ۲٪ ماهانه درنظر گرفته شده است. به این ترتیب، هر یک ماه که از زمان شروع سبد پروژه گذشته شود، هزینه ماهانه پروژه‌ها ۲٪ افزایش خواهد یافت. این افزایش هزینه به صورت تورم مرکب بوده و هزینه ماه i ام هر پروژه طبق رابطه ۷ محاسبه می‌شود.

$$C_i = C \times (۱+۰۲/۰)^i \quad (۷)$$

۲- **مبلغ فروش پروژه ها:** برای فروش پروژه‌ها با توجه به نظرات خبرگان، سود ۲۰٪ نسبت به هزینه ساخت درنظر گرفته شده است. برای محاسبه این سود، ابتدا هزینه تمام شده پروژه بدون درنظر گرفتن تورم درنظر گرفته شده، سپس با توجه به تورم مسکن در ماه مورد نظر محاسبه شده است. در این پژوهش، تورم مسکن با توجه به دوره های رکود و رونق بازار مسکن طبق اعلام بانک مرکزی درنظر گرفته شده است. این دوره رکود و رونق به صورت جدول ۲ است.

جدول۲ : تورم مسکن در دوره های رکود و رونق

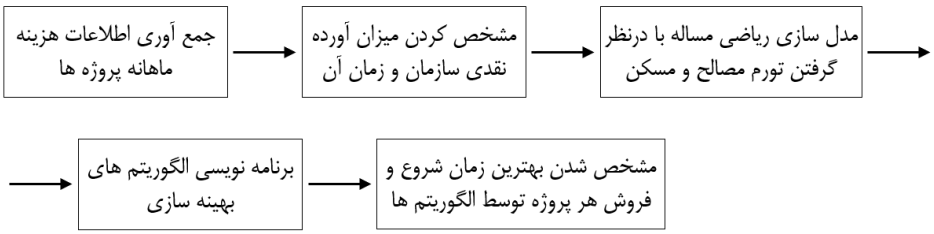
دوره	مدت	تورم ماهانه
رکود	۱۰ فصل معادل ۳۰ ماه	-۲/۲۱۳
رونق	۱۰ فصل معادل ۳۰ ماه	+۵/۳۴۶

۳- **مدت زمان سبد پروژه:** مدت زمان سبد پروژه برای این مساله ۷ سال یعنی ۸۴ ماه درنظر گرفته شده است.

۴- **شروع سبد پروژه:** در این مساله، شروع زمانی سبد پروژه در ابتدای دوره رکود درنظر گرفته شده است.

۵- **آورده نقدی اولیه سازمان:** در این مثال، فرض شده است که ۲۵٪ هزینه ساخت کل پروژه‌ها (بدون درنظر گرفتن تورم) در ابتدای سبد و ۲۵٪ دیگر یک سال بعد یعنی در ماه ۱۲ ام تزریق خواهد شد.

به طور کلی مراحل لازم جهت حل مساله به صورت شکل ۷ انجام شده است.



شکل ۷ : مراحل مدل سازی و حل مساله

فضای جواب مساله

در این مساله، سبدی شامل ۵ پروژه درنظر گرفته شده است که برای هر پروژه می‌بایست زمان شروع و زمان فروش مشخص شود. با توجه به این که فرض شده است تا سبد پروژه در ۸۴ ماه بسته شود و از طرفی مدت زمان پروژه‌ها ۳۰ ماه درنظر گرفته شده است، پس پروژه‌ها می‌بایست حداکثر تا ماه ۵۴ شروع شوند (از ماه ۱ الی ۵۴). به همین ترتیب زمان فروش پروژه‌ها از ماه ۳۰ الی ۸۴ می‌تواند باشد. بر این اساس، فضای جست و جو مساله برابر است با:

$$۵۴^{۵} \times ۵۴^{۵} = ۲\times۱۰^{۱۷}$$

همانطور که مشاهده می‌شود، فضای جست و جوی مساله بسیار بزرگ است و برای حل مساله نیاز به الگوریتم‌های جست و جوی هوشمند است تا جواب بهینه یافت شود.

۶- نتایج

در این بخش از مقاله، به بررسی نتایج به دست آمده از حل مدل و تفسیر آن پرداخته شده است. همچنین مقایسه‌ای بین نتایج ارائه شده توسط مدل و نتایج یک حالت سنتی که توسط نظر خبرگان ارائه شده است انجام شده است.

برنامه تابع هدف و الگوریتم های بهینه یابی در نرم افزار Matlab نوشته شده است. پس از اجرای برنامه، نتایج حاصل از دو الگوریتم به شرح جدول ۳ به دست آمده است.

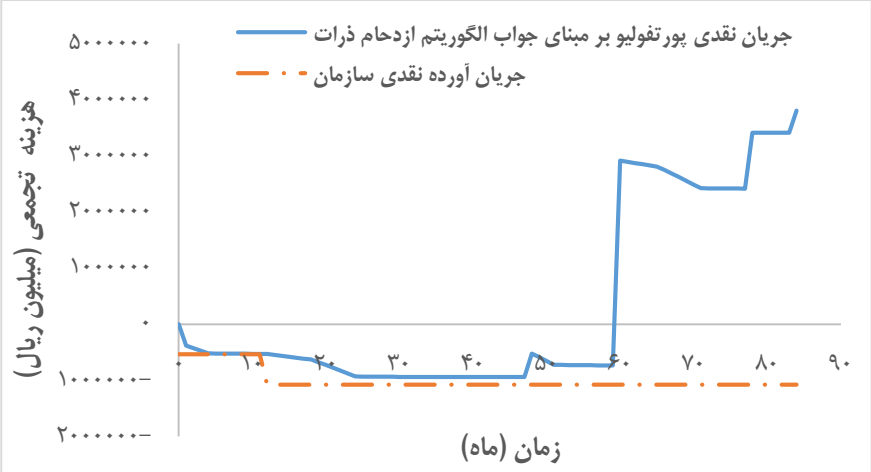
جدول۳ : نتایج الگوریتم های بهینه یابی

الگوریتم	حالت بهینه متغیر مساله	مقدار بهینه تابع هدف	تعداد تکرار	تعداد جمعیت هر تکرار	زمان اجرای برنامه	شماره تکرار رسیدن به جواب بهینه
ژنتیک	[۱ ۱ ۱ ۴۸ ۴۸] [۴۸ ۶۰ ۶۰ ۷۸ ۸۴]	۲۵۲۵۷۶۹۱	۲۰۰	۲۰۰	۴۲/۵ ثانیه	۱۱۹
ازدحام ذرات	[۱ ۱ ۱ ۴۸ ۴۸] [۴۸ ۶۰ ۶۰ ۷۸ ۸۴]	۲۵۲۵۷۶۹۱	۲۰۰	۲۰۰	۲۶/۷ ثانیه	۶۰

با توجه به جدول ۳ مشاهده می‌شود که جواب نهایی الگوریتم‌های ژنتیک و ازدحام ذرات برابر شده است. این موضوع نشان می‌دهد که پاسخ به دست آمده جوابی قابل قبول بوده و می‌توان این‌گونه درنظر گرفت که بهینه‌ترین حالت ممکن است. از طرف دیگر با مقایسه زمان اجرای برنامه برای دو الگوریتم مشاهده می‌شود که الگوریتم ازدحام ذرات سرعت بهتری در این مساله داشته و در زمان کمتری اجرا شده است. نکته حائز اهمیت در مقایسه دو الگوریتم این است که الگوریتم ژنتیک پس از ۱۱۹ مرتبه تکرار به جواب بهینه رسیده است درحالی که الگوریتم ازدحام ذرات تنها در ۶۰ تکرار به جواب بهینه رسیده است. این مقایسه نشان می‌دهد که قدرت و عملکرد الگوریم ازدحام ذرات در این مساله بیشتر از الگوریتم ژنتیک است

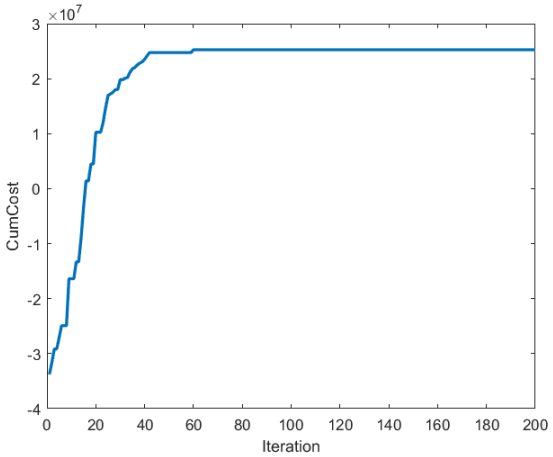
تحلیل خروجی الگوریتم‌های بهینه‌یابی

با توجه به جدول ۳ مشاهده می‌شود که جواب هردو الگوریتم بهینه یابی ژنتیک و ازدحام ذرات برابر بوده است. جواب ارائه شده به صورتی است که زمان شروع پروژه ۱ تا ۵ را به ترتیب ماه های ۱، ۱، ۱، ۴۸ و ۴۸ اعلام کرده است. به عبارت دیگر، شروع پروژه‌های ۱، ۲ و ۳ را در ابتدای شروع سبد پروژه قرار داده و شروع پروژه‌های ۴ و ۵ را به ماه ۴۸ موکول کرده است. همچنین زمان فروش پروژه‌های ۱ تا ۵ را به ترتیب ماه‌های ۴۸، ۶۰، ۶۰، ۷۸ و ۸۴ اعلام کرده است. با توجه به زمان شروع پروژه‌های ۴ و ۵ (ماه ۴۸) و از طرف دیگر زمان فروش پروژه ۱ (ماه ۴۸) مشاهده می‌شود که فروش پروژه ۱ همزمان با شروع پروژه‌های ۴ و ۵ شده است. مشخص است که الگوریتم هوشمندانه اقدام به فروش پروژه ۱ در ماه ۴۸ کرده است تا منابع مالی جهت ساخت پروژه‌های ۴ و ۵ تامین شود. همچنین جواب الگوریتم به گونه‌ای بوده است که مقدار سطح زیر نمودار جریان نقدی که نمایانگر تابع هدف مساله است برابر با عدد ۲۵۲۵۷۶۹۱ شود. منحنی جریان نقدینگی در این حالت در شکل ۸ ارائه شده است.



شکل ۸ : منحنی جریان نقدی سبد پروژه برمبنای جواب الگوریتم بهینه یابی ازدحام ذرات

با توجه به شکل ۸ مشاهده می‌شود که زمان شروع و پایان هر پروژه توسط الگوریتم به گونه‌ای انتخاب شده است که نه تنها هدف سازمان که بهینه‌سازی سطح زیر نمودار جریان نقدی است انجام شود، بلکه محدودیت آورده نقدی سازمان که امر مهمی در سبد پروژه است نیز درنظر گرفته شود به گونه‌ای که در زمان نیاز مالی برای شروع پروژه در ماه ۴۸، الگوریتم به دلیل کمبود منابع و از طرف دیگر نیاز به شروع پروژه دیگر، مجبور به فروش یکی از پروژه‌های به اتمام رسیده در این ماه شده است. لازم به ذکر است تا قبل از ماه ۴۸ ام به دلیل کافی بودن میزان نقدینگی، الگوریتم اقدام به فروش پروژه‌ای نکرده است. این عدم فروش به دلیل وجود دوره رونق در آن بازه زمانی است تا بتوان در ماه‌های بعد با قیمت بیشتری پروژه‌ها را به فروش رساند و مبلغ بیشتری را وارد جریان نقدی سبد پروژه کرد. روند بهبود تابع هدف برای الگوریتم ژنتیک در چرخه تکرارها در شکل ۹ ارائه شده است. همانطور که از این شکل مشاهده می‌شود، روند بهبود در الگوریتم به صورت پیوسته بوده و با تکرارهای بیشتر، جواب های بهتری را پیدا کرده است.



شکل ۹ : بهبود تابع هدف (سطح زیر نمودار جریان نقدینگی) با افزایش تکرار برای الگوریتم ازدحام ذرات

۷- تفسیر

در این بخش، نتایج به دست آمده از خروجی الگوریتم بهینه یابی مورد بررسی قرار گرفته است. به منظور تفسیر این نتایج، لازم است تا نتایج حاصله مورد ارزیابی قرار گیرند تا عملکرد آن بررسی شود. به این منظور، از یک تیم مستقر در دفتر مدیریت پروژه سازمان درخواست شد تا برای مساله ارائه شده در این مقاله، جوابی را با توجه به محاسبات مرسوم خود ارائه دهند تا با خروجی الگوریتم مقایسه

شود. این تیم متشکل از یک مدیر پروژه با ۱۲ سال سابقه، کارشناس ارشد برنامه ریزی پروژه با ۱۰ سال سابقه و ۲ کارشناس کنترل پروژه به ترتیب با ۵ و ۴ سال سابقه کار است. جواب ارائه شده توسط این تیم در جدول ۴ ارائه شده است.

جدول٤ : مقایسه نتایج حالت چینش ستنی و بهینه توسط الگوریتم

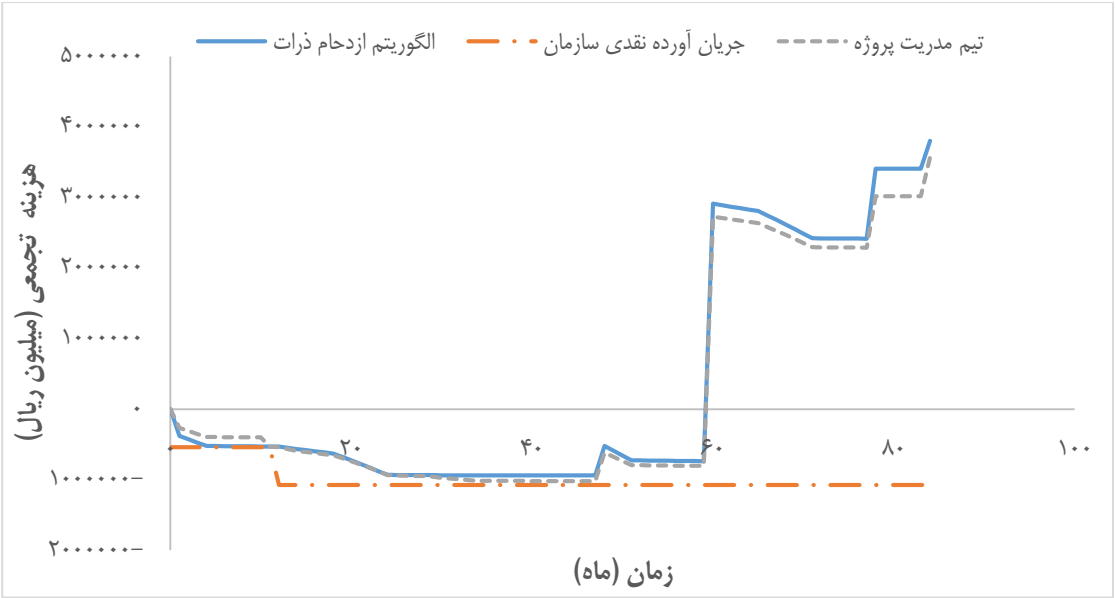
جواب ارائه شده برای مساله	مقدار تابع هدف
[۴۸ ۱ ۴۸ ۱ ۱۱] [۸۴ ۴۸ ۷۸ ۶۰ ۶۰]	۱۸۹۱۷۰۱۰

به عبارت دیگر، تیم مدیریت پروژه با بررسی شرایط مساله اعلام کردن که میبایست پروژه‌های ۱ تا ۵ را به ترتیب در ماه های ۴۸، ۱، ۴۸، ۱ و ۱۱ شروع و در ماه‌های ۸۴، ۴۸، ۷۸، ۶۰ و ۶۰ به فروش رساند که در این صورت مقدار تابع هدف مساله (سطح زیر نمودار جریان نقدی سبد پروژه) برابر با ۱۸۹۱۷۰۱۰ خواهد شد. لازم به ذکر است که جواب ارائه شده توسط تیم مدیریت پروژه، تمامی قیدهای مساله را رعایت کرده و مورد قبول می‌باشد.

مقایسه نتایج الگوریتم با جواب ارائه شده توسط تیم مدیریت پروژه

پاسخ ارائه شده توسط تیم مدیریت پروژه گرچه قیدهای مساله را رعایت کرده و درنهایت مقدار تابع هدف مثبت و مقدار قابل قبولی است، اما نسبت به جواب ارائه شده توسط مدل و الگوریتم ارائه شده در این تحقیق، تابع هدف کمتری دارد که نشان از فشار مالی بیشتر به سازمان است. با مقایسه مقدار تابع هدف ارائه شده توسط الگوریتم و تیم مدیریت پروژه، مشاهده می‌شود که نتایج حاصل از الگوریتم به گونه‌ای است که در مقایسه با حالتی که از نظر خبره استخراج شده است، ۳۳٪ بهبود را در تابع هدف نشان داد. مقایسه نمودار جریان نقدی سبد پروژه طبق جواب ارائه شده توسط الگوریتم و تیم مدیریت پروژه در شکل ۱۰ ارائه شده است.

تفاوت جواب ارائه شده توسط الگوریتم و تیم مدیریت پروژه را می‌توان در استفاده بهینه از منابع سازمان دانست. تیم مدیریت پروژه در ابتدای شروع سبد پروژه تصمیم بر شروع ۲ پروژه گرفت درحالی که طبق محاسبات انجام شده توسط الگوریتم، این امکان وجود داشته است که ۳ پروژه در ابتدای شروع سبد پروژه، شروع شود. همین امر سبب شده است تا هزینه‌های ساخت پروژه‌ها کاهش یافته (به دلیل وجود تورم و افزایش قیمت در ماه‌های بعدی) شده است.



شکل ۱۰ : مقایسه جریان نقدینگی سبد پروژه برای حالت سنتی و جواب بهینه الگوریتم

۷- جمع بندی

در این مقاله به بررسی متعادل‌سازی سبد پروژه با رویکرد جریان نقدی سبد با درنظرگرفتن شاخص‌های بازار و میزان آورده نقدی سازمان پرداخته شده است. هدف اصلی تحقیق، تعیین زمان شروع و زمان فروش پروژه‌های موجود در یک سبد پروژه به صورت بهینه است تا منحنی جریان نقدی سبد پروژه بهینه شود. با توجه به وسیع بودن فضای مساله، برای حل مدل از الگوریتم‌های بهینه یابی ژنتیک و ازدحام ذرات استفاده شده است.

یکی از بزرگترین نقاط قوت مدل ارائه شده، درنظرگیری شرایط مالی سازمان (آورده نقدی سازمان) است که حداکثر استفاده از آورده نقدی شود تا بیشترین بازدهی را بتوان از سبد پروژه کسب کرد. دیگر نقاط قوت مدل ارائه شده به شرح زیر است:

- عدم محدودیت تعداد پروژه موجود در سبد پروژه
- درنظرگیری شرایط بازار (تورم ساخت و تورم مسکن)
- درنظرگیری دوره‌های رکود و رونق بازار مسکن
- قابلیت درنظرگیری جریان نقدی سازمان به صورت تزریق یکجا یا به صورت مرحله‌ای و بهینه‌سازی سبد پروژه متناسب با آن

موارد درنظر گرفته شده در این مدل به گونه‌ای هستند که نه تنها سازمان را به جواب بهینه می‌رساند، بلکه مواردی چون آورده نقدی سازمان را درنظر می‌گیرد که این امر سبب می‌شود سازمان با خیال آسوده به اجرای سبد بپردازد و مشکلی از بابت عدم موجود بودن پول جهت اجرای پروژه‌ها را نداشته باشد چرا که جواب به دست آمده از مدل، کاملا متناسب با آورده نقدی و پول در دست سازمان است.

به منظور ارزیابی مدل ارائه شده، از یک تیم مدیریت پروژه درخواست شد تا مساله حاضر را به روش مرسوم خود بررسی و اعلام نظر کنند. نتایج الگوریتم نشان می‌دهد که مقدار تابع هدف برای جواب ارائه شده توسط الگوریتم ۳۳٪ نسبت به جواب ارائه شده توسط تیم مدیریت پروژه بهبود داشته است که نشان از عملکرد مناسب مدل و الگوریتم بهینه یابی در این مساله است.

فضای جست و جوی مساله ارائه شده ۲×۱۰^{۱۷} است و دلیل استفاده از الگوریتم فراابتکاری برای حل مدل این است که بررسی تمام این فضا بسیار وقت گیر است از این رو از الگوریتم‌های ژنتیک و ازدحام ذرات جهت یافتن جواب بهینه استفاده شده است. نتایج نشان داد که برای مدل ارائه شده، الگوریتم ازدحام ذرات در زمان کمتر و با جست و جوی فضای کمتری قادر به رسیدن به جواب بهینه بوده است.

پیشنهادات

در انتها، پیشنهاد می‌شود تا محققین در جهت توسعه مدل ارائه شده، هزینه‌های دیگر مانند هزینه نگهداری پروژه‌ها از زمان تکمیل ساخت تا زمان فروش را نیز درنظر گیرند. همچنین پیشنهاد می‌شود تا امکان استفاده از منابع مالی دیگر سازمان مانند وام‌های مسکن نیز به مدل اضافه شده و مدل تصمیم‌گیری کند که آیا وام گرفته شود یا خیر.

مراجع

[1] Masoumi, R., and Touran, A. (2016). A framework to form balanced project portfolios. In: *Construction Research Congress*, San Juan: ASCE, 1772-1781

[2] Aritua, B., Smith, N. J., and Bower, D. (2009). Construction client multi-projects–A complex adaptive systems perspective. *International Journal of Project Management*, 27(1), 72-79.

[3] Cooper, R. G., Edgett, S. J., and Kleinschmidt, E. J. (1997). Portfolio management in new product development: Lessons from the leaders—I. *Research-Technology Management*, 40(5), 16-28.

[4] Markowitz, H. (1952). Portfolio selection. *The journal of finance*, 7(1), 77-91.

[5] Markowitz, H. M. (1968). 2. Illustrative Portfolio Analyses. In: *Portfolio Selection*. Connecticut: Yale University Press, 8-34.

[6] Abbasianjahromi, H., and Rajaie, H. (2012). Developing a project portfolio selection model for contractor firms considering the risk factor. *Journal of Civil Engineering and Management*, 18(6), 879-889.

[7] Casault, S., Groen, A. J., and Linton, J. D. (2013). *Selection of a portfolio of R&D projects*. In: Handbook on the theory and practice of program evaluation. Cheltenham: Edward Elgar Publishing, 89-115.

[8] Huang, C. C., Chu, P. Y., & Chiang, Y. H. (2008). A fuzzy AHP application in government-sponsored R&D project selection. *Omega*, 36(6), 1038-1052.

[9] Samer Ezeldin, A., & Ali, G. G. (2017). Cash flow optimization for construction portfolios. In: *International Conference on Sustainable Infrastructure*, New York: ASCE, 26-37.

[10] Platje, A., Seidel, H., & Wadman, S. (1994). Project and portfolio planning cycle: project-based management for the multiproject challenge. *International Journal of Project Management*, 12(2), 100-106.

[11] Han, S. H., Diekmann, J. E., Lee, Y., & Ock, J. H. (2004). Multicriteria financial portfolio risk management for international projects. *Journal of construction engineering and management*, 130(3), 346-356.

[12] Sanchez, H., Robert, B., Bourgault, M., & Pellerin, R. (2009). Risk management applied to projects, programs, and portfolios. *International journal of managing projects in Business*. 2(1):14-35

[13] Purnus, A., and Bodea, C. N. (2015). Financial management of the construction projects: a proposed cash flow analysis model at project portfolio level. Organization, *technology & management in construction: an international journal*, 7(1), 1217-1227.

[14] Hegazy, T. (1999). Optimization of resource allocation and leveling using genetic algorithms. *Journal of construction engineering and management*, 125(3), 167-175.

[15] Qin, Z., Kar, S., & Zheng, H. (2016). Uncertain portfolio adjusting model using semiabsolute deviation. *Soft Computing*, 20(2), 717-725.

[16] Kumar, P., Panda, G., & Gupta, U. C. (2015). Portfolio rebalancing model with transaction costs using interval optimization. *Opsearch*, 52(4), 827-860.

[17] Mittal, G., & Mehlawat, M. K. (2014). A multiobjective portfolio rebalancing model incorporating transaction costs based on incremental discounts. *Optimization*, 63(10), 1595-1613.

[18] Drenovak, M., & Ranković, V. (2014). Markowitz portfolio rebalancing with turnover monitoring. *Ekonomski horizonti*, 16(3), 211-223.

[19] Wang, M., Xu, F., & Wang, G. (2014). Sparse portfolio rebalancing model based on inverse optimization. *Optimization Methods and Software*, 29(2), 297-309.

[20] Woodside-Oriakhi, M., Lucas, C., & Beasley, J. E. (2013). Portfolio rebalancing with an investment horizon and transaction costs. *Omega*, 41(2), 406-420.

[21] Gupta, P., Mittal, G., & Mehlawat, M. K. (2013). Expected value multiobjective portfolio rebalancing model with fuzzy parameters. *Insurance: Mathematics and Economics*, 52(2), 190-203.

[22] Das, S. R., Kaznachey, D., & Goyal, M. (2014). Computing optimal rebalance frequency for log-optimal portfolios. *Quantitative Finance*, 14(8), 1489-1502.

[23] Iscoe, I., Kreinin, A., Mausser, H., & Romanko, O. (2012). Portfolio credit-risk optimization. *Journal of Banking & Finance*, 36(6), 1604-1615.

[24] Yu, J. R., & Lee, W. Y. (2011). Portfolio rebalancing model using multiple criteria. *European Journal of Operational Research*, 209(2), 166-175.

[25] Caron, F., Fumagalli, M., & Rigamonti, A. (2007). Engineering and contracting projects: A value at risk based approach to portfolio balancing. *International journal of project management*, 25(6), 569-578.

[26] Eilat, H., Golany, B., & Shtub, A. (2006). Constructing and evaluating balanced portfolios of R&D projects with interactions: A DEA based methodology. *European journal of operational research*, 172(3), 1018-1039.

[27] Dichtl, H., Drobetz, W., & Wambach, M. (2014). Where is the value added of rebalancing? A systematic comparison of alternative rebalancing strategies. *Financial Markets and Portfolio Management*, 28(3), 209-231.

[28] Alavipour, S. R., & Arditi, D. (2018). Optimizing financing cost in construction projects with fixed project duration. *Journal of Construction Engineering and Management*, 144(4), 04018012.

[29] Shiha, A., & Hosny, O. (2019). A Multi-Objective Model for Enterprise Cash Flow Management. *In Proceedings, Annual Conference-Canadian Society for Civil Engineering* (Vol. 2019).

[30] He, Y., Zhang, J., & He, Z. (2019). Metaheuristic algorithms for multimode multiproject scheduling with the objective of positive cash flow balance. *IEEE Access*, 7, 157427-157436.

[31] Rosłon, J., Książek-Nowak, M., Nowak, P., & Zawistowski, J. (2020). Cash-flow schedules optimization within life cycle costing (LCC). *Sustainability*, 12(19), 8201.

[۳۲] اخوان تپه سری, ندا, شیرازی, بابک, تاجدین, علی. (۱۳۹۸). انتخاب سبد پروژه با بکارگیری رویکردی تلفیقی از فرآیند تحلیل سلسله مراتبی فازی و برنامه ریزی خطی عدد صحیح با ضرایب تابع هدف اصلاح شده. *مطالعات مدیریت صنعتی* 10.22054/jims.2017.16755.1595 :doi .339-385 ,(52)17.

[۳۳] داودی، م، (۱۴۰۰)، بهینه سازی انتخاب سبد پروژه ها با استفاده از برنامه ریزی خطی، *دومین کنفرانس بین المللی چالش ها و راهکارهای نوین در مهندسی صنایع و مدیریت و حسابداری*، https://civilica.com/doc/1244390.

[34] Mirjalili, S. (2019). Genetic algorithm. In Evolutionary algorithms and neural networks (pp. 43-55). *Springer*, Cham.

[35] Katoch, S., Chauhan, S. S., & Kumar, V. (2021). A review on genetic algorithm: past, present, and future. *Multimedia Tools and Applications*, 80(5), 8091-8126.

[36] Asadujjaman, M., Rahman, H. F., Chakrabortty, R. K., & Ryan, M. J. (2020, December). An Immune Genetic Algorithm for Resource Constrained Project Scheduling Problem with Discounted Cash Flows. *In 2020 IEEE International Conference on Industrial Engineering and Engineering Management (IEEM)* (pp. 1179-1183). IEEE.

[37] Kennedy, J., & Eberhart, R. (1995, November). Particle swarm optimization. *In Proceedings of ICNN'95-international conference on neural* networks (Vol. 4, pp. 1942-1948). IEEE.

[38] Son, P. V. H., Duy, N. H. C., & Dat, P. T. (2021). Optimization of construction material cost through logistics planning model of dragonfly algorithm—particle swarm optimization. *KSCE Journal of Civil Engineering*, 25(7), 2350-2359.

[39] Jalaee, S. A., Shakibaei, A., Horry, H. R., Akbarifard, H., GhasemiNejad, A., Robati, F. N., & Zarin, N. A. (2021). A new hybrid metaheuristic method based on biogeography-based optimization and particle swarm optimization algorithm to estimate money demand in Iran. *MethodsX*, 8, 101226.