



A New Hybrid Model Based on GA and PSO to the Optimization of Facility Maintenance Scheduling

Javad Gholami^{*1}, Seyed Ahmad Razavi Al_e_Hashem², , Seyed Abbas Safavi³

¹ Researcher, Department of Mechanical Engineering, Imam Hossein Comprehensive University. javadgholami@mecheng.iust.ac.ir.

² Researcher, Department of Industrial engineering, Imam Hossein Comprehensive University. razavi1918@gmail.com.

³Instructor and Researcher, Faculty of Defense Science & Engineering, Imam Hussein Officers and Guard Training University, Tehran, Iran. nasir.safavi@gmail.com.

Received:2020/08/18 Accepted:2020/09/18

Abstract:

With the expansion of industries and companies, the number and dimensions of buildings and facilities of organizations are increasing, which increases the value of these assets, increasing the importance of maintenance and repairs of these facilities. On the other hand, as the number of assets increases, the process of managing their maintenance and repairs becomes more difficult than in the past. It is better to define a model for scheduling the maintenance, to proposed the optimal time and order of maintenance program. In this paper, by the combination of Genetic algorithm (GA) and Particle Swarm Optimizations (PSO), a new model for scheduling maintenance for organizations with different locations is presented. The main contributions of this paper are (a) Definition of the main problem in multiple locations and consideration of travel times between each location. (b) Consideration of different work skills for maintenance plan. (c) Consideration of the possibility of outsourcing each task. Considering 10 scenarios for the number of facilities, 3 scenarios for the number of specialists in each location and 2 scenarios for the type of costs, the results show the better performance of the proposed model in compare of three different models as Gulpiras model, Koay's Model, and Javanmard's model, where the results have been shown, by using the proposed model, it is possible to reduce costs just over by 34%.

Keywords: Maintenance, Scheduling, Genetic Algorithm, Particle Swarm Optimizations.

^{*} Corresponding author mail: : Javadgholami@mecheng.iust.ac.ir



مدل ترکیبی جدید بر پایه الگوریتم ژنتیک و بهینه‌سازی ازدحام ذرات باهداف بهینه‌سازی زمان‌بندی نگهداری و تعمیرات

جواد غلامی^{۱*}، سید احمد رضوی آل هاشم^۲، سید عباس صفوی^۳

^۱ پژوهشگر، گروه علمی مهندسی مکانیک، دانشگاه جامع امام حسین (ع)، تهران، ایران

^۲ پژوهشگر، گروه علمی مهندسی صنایع، دانشگاه جامع امام حسین (ع)، تهران، ایران.

^۳ مربی و پژوهشگر، گروه علمی مهندسی نت و بهینه‌سازی انرژی، دانشگاه افسری و تربیت پاسداری امام حسین (ع)، تهران، ایران.

تاریخ دریافت مقاله: ۱۳۹۹/۰۵/۳۱ تاریخ پذیرش مقاله: ۱۳۹۹/۰۶/۲۸

چکیده:

با توجه به توسعه صنایع و شرکت‌ها، تعداد و ابعاد ساختمان‌ها و تسهیلات در سازمان‌ها در حال افزایش می‌باشد که این امر موجب افزایش ارزش این دارایی‌ها و همچنین افزایش اهمیت نگهداری و تعمیرات این تسهیلات شده است. از طرف دیگر، با افزایش تعداد دارایی‌ها، فرآیند مدیریت نگهداری و تعمیرات بسیار پیچیده‌تر از گذشته شده است. بدین منظور در این تحقیق مدلی برای زمان‌بندی نگهداری و تعمیرات، با هدف تعیین زمان بهینه و تعیین برنامه نگهداری و تعمیرات تعریف شده است. بدین منظور در این تحقیق، مدلی جدید از ادغام الگوریتم ژنتیک و بهینه‌سازی ازدحام ذرات برای زمان‌بندی نگهداری و تعمیرات سازمان‌هایی با چندین مکان مختلف ارائه شده است. نوآوری اصلی این تحقیق عبارت‌اند از: (آ) تعریف مسئله اصلی در مکان‌های چندتایی و تعیین زمان‌های سفر بین هر مکان؛ (ب) تعیین مهارت‌های کاری مختلف برای طرح ریزی نگهداری تعمیرات؛ (پ) تعیین احتمال برون‌سپاری هر فعالیت. همچنین ۱۰ سناریو برای تعداد تسهیلات، ۳ سناریو برای تعداد متخصصان در هر مکان و ۲ سناریو برای انواع هزینه‌ها در نظر گرفته شده است. نتایج حاصل از این تحقیق نشان می‌دهد که مدل پیشنهادی در این تحقیق، در مقایسه با سه مدل مختلف ارائه شده توسط گلیپیرا^۲، کوآی^۳ و جوانمرد عملکرد بهتری داشته و نتایج نشان می‌دهد که مدل پیشنهادی می‌تواند منجر به کاهش ۳۴ درصدی در هزینه‌ها شود.

واژه‌های کلیدی: نگهداری و تعمیرات، الگوریتم ژنتیک، بهینه‌سازی ازدحام ذرات، زمان‌بندی.

* ایمیل نویسنده مسئول: javadgholami@mecheng.iust.ac.ir





۱- مقدمه

عموماً، تمام شرکت‌ها و سازمان‌ها نیازمند آن هستند تا از تسهیلاتی همچون ساختمان‌ها و املاک در پیاده‌سازی و پشتیبانی کسب‌وکار اصلی‌شان استفاده کنند و اغلب چرخه عمر تسهیل، شامل چند مرحله است که عبارت‌اند از طرح‌ریزی، طراحی، ساخت، عملیات، نگهداری تعمیرات؛ و در این چرخه بیشتر زمان و هزینه توسط مالک صرف مرحله عملیات و نگهداری و تعمیرات تسهیل می‌شود [1]. اما با توجه به کمبود مدل جامع و تکنیک‌هایی برای مدیریت تسهیل و فقدان سیاست‌های کافی نگهداری تعمیرات ساختمان در سازمان، تمامی فعالیت‌های نگهداری تعمیرات با هزینه و تأخیر زمانی بالا انجام می‌شود [2].

امروزه با افزایش هزینه‌های ساخت‌وساز و با توجه به محدودیت نیروی کار و سرمایه در سازمان‌ها، نقش اقدامات و مدیریت نگهداری و تعمیرات در حفظ تسهیلات و بهبود کارایی عملکرد آن‌ها برای کل تسهیلات از اهمیت بیشتری برخوردار شده است [3]. به‌منظور حفظ کارایی تأسیسات، نگهداری و تعمیرات باید به‌طور جدی موردتوجه قرار گیرد؛ زیرا مدیریت آن نقش اساسی در عملکرد تسهیلات دارد [4].

طبق این اصل، استفاده از مدیریت تسهیلات (FM) می‌تواند بر توانایی سازمان در انجام بهتر فعالیت‌های خود و برآورده کردن کلیه الزامات آن تأثیر بگذارد. اهداف FM فراهم کردن شرایط کاری و محیطی بهتر در سازمان برای دستیابی به هدف اصلی سازمان است [5].

مدیریت تسهیل، عنوانی کلی است که طیف گسترده‌ای از فعالیت‌ها از جمله نظافت، امنیت، ایمنی، نگهداری و تعمیرات، بازرسی، برنامه‌ریزی نگهداری و تعمیرات، برنامه‌ریزی تعمیرات، برنامه‌ریزی منابع، فعالیت‌های خرید و ساخت را در برمی‌گیرد [6]. مدیریت تسهیل شامل حوزه‌هایی است که از فعالیت‌های اصلی شرکت از طریق فعالیت‌های کاری کمکی مرتبط با حفظ املاک و ساختمان‌ها پشتیبانی می‌کند. بر اساس تعریف مجمع بین‌المللی مدیریت تسهیلات (IFMA)، مدیریت تسهیل "حرفه‌ای است که شامل نظامی چندتایی باهدف اطمینان یافتن از عملکرد، راحتی، ایمنی و کارایی محیط ساخته شده با ادغام افراد، مکان، فرآیند و فناوری است" [5].

مدیریت تسهیلات (FM) یک رویکرد یکپارچه برای سازمان است که بتواند ساختمان‌ها و زیرساخت‌ها را برای عملیات، نگهداری و تعمیرات، بهبود و تطبیق در راستای اهداف اولیه سازمان، مشاغل، مالکان و مدیران تسهیل پشتیبانی کند [7]. مدیریت تسهیلات (FM) شامل نواحی مختلف است، اما مدیریت نگهداری، تعمیرات و تسهیل (FMM) است که اغلب هزینه‌های ایجاد شده توسط فعالیت‌های مدیریت تسهیل (۸۵٪ - ۶۵٪) را شامل می‌شود. [۸]

بر اساس استاندارد بریتانیایی "۳۸۱۱"، مدیریت تسهیل نگهداری تعمیرات می‌تواند به‌عنوان ترکیبی از هرگونه فعالیت‌هایی که برای حفظ یا بازایی تسهیل به شرایط قابل قبول باهدف عملکرد نرمال آن تعریف شود [9].

با توجه به ادبیات موضوع، فعالیت‌های نگهداری و تعمیرات تسهیل به دو گروه دسته‌بندی می‌شود: (۱) فعالیت‌های نگهداری و تعمیرات زمان‌بندی‌شده و (۲) فعالیت‌های نگهداری و تعمیرات زمان‌بندی نشده که با خرابی‌ها و توقف‌های اضطراری در ارتباط است. نگهداری و تعمیرات زمان‌بندی‌شده شامل (۱،۱) نگهداری و تعمیرات پیشگیرانه و روزمره و (۲،۱) نگهداری و تعمیرات اصلاحی و تعمیرات زمان‌بندی‌شده است. نگهداری و تعمیرات زمان‌بندی نشده، به‌صورت تصادفی است [10]. بر اساس تحقیق دوفال و سلطان (۱۹۹۹) "این عدم قطعیت زمان‌بندی در نگهداری و تعمیرات را با چالش روبرو کرده است [11].



مسئله بهینه‌سازی نگهداری و تعمیرات به سه دسته تقسیم می‌شود: انتخاب استراتژی، طرح‌ریزی نگهداری و تعمیرات و زمان‌بندی نگهداری و تعمیرات است و توسعه و تجزیه و تحلیل مدل‌های ریاضی را باهدف بهبود یا بهینه‌سازی نگهداری و تعمیرات شامل می‌شود [12]. این تحقیق بر روی زمان‌بندی نگهداری و تعمیرات متمرکز می‌باشد.

به منظور زمان‌بندی نگهداری و تعمیرات، چندین مدل و الگوریتم بدین منظور به کار گرفته شدند که به طور کلی این روش‌ها به دو گروه مدل تک هدفه [13] و مدل‌های چند هدفه [14] با تابع هدف مختلف همچون مدل بهینه‌سازی بر مبنای کمینه‌سازی هزینه [15]، مدل مبتنی بر قابلیت اطمینان [13]، حداکثر ایمنی [16]، کمینه‌سازی ریسک خرابی [17]، حداکثر کردن سود [18]، مدل مبنی بر قابلیت نگهداشت [19]، مدل مبتنی بر دسترس‌پذیری [15] تقسیم می‌شوند. برای حل این مسائل از روش‌هایی همچون الگوریتم ژنتیک [20]، بهینه‌سازی ازدحام ذرات [21]، نسخه‌ی دوم الگوریتم ژنتیک چند هدفه با مرتب‌سازی نامغلوب (NSGA II) [22]، برنامه‌ریزی خطی عدد صحیح مختلط [10] و شبیه‌سازی مونت کارلو [18] استفاده شده است.

محدودیت‌های اصلی در نظر گرفته شده در ادبیات موضوع برای این مسئله عبارت‌اند از: مالی/هزینه، کارکنان نگهداری و تعمیرات، منابع نگهداری و تعمیرات، زمان انجام نگهداری و تعمیرات، قابلیت اطمینان، الزامات دسترس‌پذیری سیستم، عمر اجزاء، فاکتور بهبود تعمیر، وزن کلی قطعات، حجم کلی قطعات، فعالیت‌های بازرسی، نرخ خرابی، حدود قطعات، اولویت‌بندی نگهداری و تعمیرات، ارجحیت مشتری، شاخص متوسط زمانی اختلال در سیستم، شاخص متوسط تناوب اختلال در سیستم، اقدامات مربوط به نگهداری و تعمیرات.

بر اساس مرور ادبیات، در این تحقیق، یک مدل بهینه‌سازی ترکیبی برای زمان‌بندی نگهداری و تعمیرات تسهیل برای یک شرکت با تسهیلات مختلف در مکان‌های چندتایی مبنی بر الگوریتم ژنتیک و بهینه‌سازی ازدحام ذرات با در نظر گرفتن مهارت‌های کاری مختلف مورد نیاز و امکان برون‌سپاری برای هر فعالیت در مکان مختلف، باهدف پاسخگویی به سؤال اصلی در این تحقیق، اینکه بهترین جریان کار و برنامه زمانی نگهداری و تعمیرات برای کل سال با در نظر گرفتن محدودیت در نیروی انسانی و فرضیات زیر چیست، ارائه شده است.

- شرکت موردنظر در مکان‌های مختلف با مسافت مشخص قرار دارد.
- کل کار نگهداری و تعمیرات برای هر مکان از پیش تعیین شده است.
- برای انجام کارهای مربوط به نگهداری و تعمیرات، سه مهارت مکانیکی، الکتریکی و نیروی کار معمولی وجود دارد.
- با فرض مصرف شدن قطعات در تمامی مدل‌ها، هزینه خرید قطعات در نظر گرفته نمی‌شود.

نوآوری اصلی این مقاله عبارت است از:

- تعریف مسئله اصلی در مکان‌های چندتایی و در نظر گرفتن زمان‌های سفر بین هر مکان.
- در نظر گرفتن مهارت‌های کاری برای برنامه نگهداری تعمیرات.
- در نظر گرفتن امکان برون‌سپاری هر فعالیت.

با توجه به موارد بالا، بخش‌های دیگر این تحقیق به صورت زیر دسته‌بندی می‌شوند: در بخش ۲، مدل پیشنهادی به صورت ترکیبی از الگوریتم ژنتیک و بهینه‌سازی ازدحام ذرات توضیح داده می‌شود. در بخش ۳، مدل پیشنهادی برای مطالعه موردی در جهان واقعی در نظر گرفته شده و نتایج آن تفسیر می‌شود. در نهایت، خلاصه و نتیجه‌گیری‌هایی در بخش ۴ ارائه می‌شود.





۲- مبانی نظری

۲-۱- الگوریتم ژنتیک

این الگوریتم یک الگوریتم ابتکاری برای جستجوی تصادفی است که طبق تکامل زیستی عمل می‌کند. این الگوریتم‌ها با بهره‌گیری از عملیات‌هایی همچون تولید جمعیت اولیه، ارزیابی تناسب، انتخاب، تقاطع و جهش در حل مسائل بهینه‌سازی پیچیده موفق بوده‌اند.

۲-۲- الگوریتم بهینه‌سازی ازدحام ذرات

یک الگوریتمی ابتکاری برای یافتن یک نقطه بهینه کلی از طریق جستجوی مکرر به‌منظور افزایش کیفیت پاسخ‌های کاندید است. این الگوریتم بر اساس گروهی از پرندگان برای یافتن غذا به‌صورت تصادفی در بین فضای پاسخ بنا شده است. هر پرنده یک پاسخ تکی است که در فضای جواب برای یافتن بهترین پاسخ‌ها حرکت می‌کند.

در هر تکرار از این الگوریتم، دو پارامتر به نام pbest (برای هر ذره متفاوت است) و gbest وجود دارد. Pbest بهترین موقعیت مکانی برای هر ذره و gbest بهترین پاسخ در میان تمام ذرات است.

در هر تکرار، ذرات با سرعت مشخص به سمت pbest و gbest حرکت می‌کنند.

۳- روش تحقیق و مدل پیشنهادی

به‌منظور تسهیل در خواندن، نمادهای مربوط به مجموعه‌ها، پارامترها و متغیرهای تصمیم استفاده شده در مدل ریاضی در فرم جدول‌بندی شده در جدول ۱ نشان داده شده است.

جدول ۱- مادها در مدل ریاضی

مجموعه‌ها	
$k = \{1, 2, 3\}$	انواع مهارت‌های تخصصی
$n_k = \{1, 2, \dots, n_k\}$	تعداد کارگران در دسترس با K امین نوع تخصص
$N = \{1, 2, \dots, n\}$	مجموعه گره‌های خدمت
$A = \{(i, j) i, j \in N, i \neq j\}$	مجموعه کمان‌ها
پارامترها	
T	دوره برنامه‌ریزی
$t_{k,i}$	زمان لازم برای i امین گره برای k امین نوع تخصص
$t'_{i,j}$	زمان سفر از گره i به گره j
$C_{i,j}$	هزینه سفر از گره i به گره j
C'_k	هزینه استفاده از K امین نوع تخصص
C''_k	هزینه برون‌سپاری K امین نوع تخصص
M	عدد بسیار بزرگ



L_i^{k,n_k}	مکان اول کارگر n_k ام
متغیرهای تصمیم	
X_{ij}^{k,n_k}	1 اگر کارگر n_k ام از گره i به گره j برود و در غیر این صورت 0
$X_{ij}'^{k,n_k}$	1 اگر گره i توسط کارگر n_k دقیقاً قبل از گره j بازدید شود و در غیر این صورت 0
U_i^k	زمان کار برون سپاری بر روی گره i برای تخصص نوع K ام
Z_{ij}	تعداد سفر از گره i به گره j
Y	یک متغیر دودویی برای تمام کارگرانی که انتخاب می شوند.

بر اساس جدول ۱، مدل ریاضی برای بهینه سازی زمان بندی نگهداری و تعمیرات طبق معادلات زیر در نظر گرفته شده است که تابع هدف در آن کمینه سازی هزینه می باشد که خود از سه بخش هزینه کارکنان، هزینه حمل و نقل و هزینه برون سپاری تشکیل شده است.

معادله (۲) زمان صرف شده برای نگهداری و تعمیرات در هر مکان و معادله (۳) برای محدودیت زمان برنامه ریزی شده می باشد. معادلات (۴) و (۵) و (۶) برای محدودیت استفاده از نیروی کار و محدودیت (۷) برای محدودیت اولین مکان برای هر نیروی کار است.

$$\min Z = \sum_{k=1}^k \sum_{i=1}^n C_k'' U_i^k + \sum_{k=1}^k \sum_{i=1}^n C_k' y_i^{k,n_k} + \sum_{j=1}^n \sum_{i=1}^n C_{ij} Z_{ij} \quad (1)$$

$$U_i^k + \sum_{n_k=1}^{n_k} y_i^{k,n_k} \geq t_{k,i} \quad \forall i \in N, k \in K \quad (2)$$

$$\sum_{i=1}^n y_i^{k,n_k} + \sum_{j=1}^n \sum_{i=1}^n t_{ij}' X_{ij}^{k,n_k} \leq T \quad \forall n_k \in n_k \quad (3)$$

$$Z_{ij} = \sum_{n_k=1}^{n_k} X_{ij}^{k,n_k} \quad \forall i, j \in N \quad (4)$$

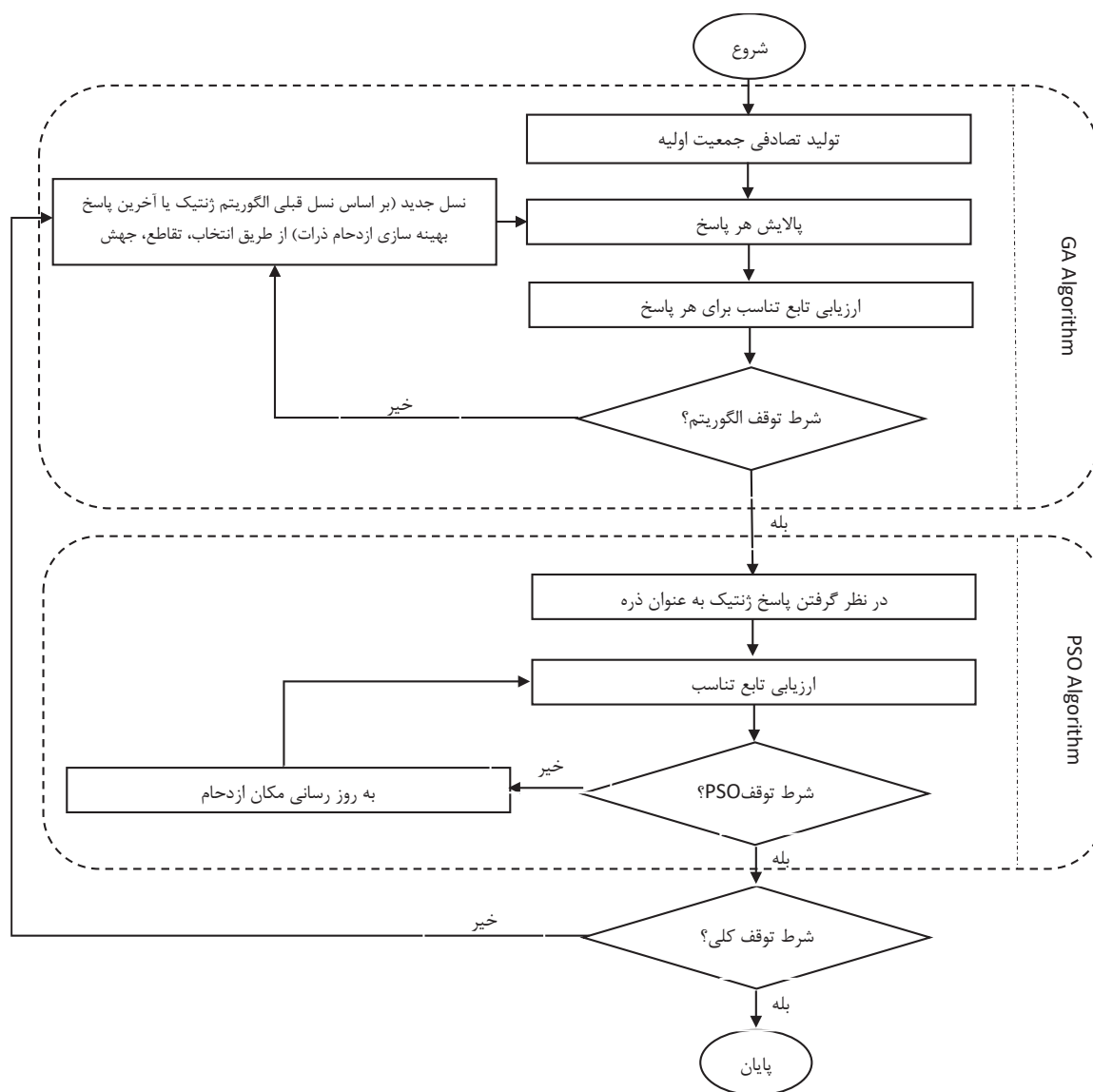
$$\sum_{i=1}^n X_{ij}^{k,n_k} = \sum_{i=1}^n X_{ji}^{k,n_k} \quad \forall i, j \in N \quad (5)$$

$$y_i^{k,n_k} \leq M \sum_{j=1}^n X_{ji}^{k,n_k} \quad \forall n_k \in n_k, i, j \in N \quad (6)$$

$$\sum_{j=1}^n X_{ij}^{k,n_k} \geq L_i^{k,n_k} \quad n_k \in n_k, i \in N \quad (7)$$

برای حل مدل پیشنهادی، ترکیبی از الگوریتم ژنتیک و بهینه سازی ازدحام ذرات به صورت زیر در نظر گرفته شده است:





شکل ۱- مدل پیشنهادی

بر مبنای مدل پیشنهادی، ابتدا الگوریتم ژنتیک برای بهینه‌سازی مدل اجرا می‌شود، سپس نتیجه این الگوریتم به عنوان مکان اول ازدحام در نظر گرفته شده و الگوریتم بهینه‌سازی ازدحام ذرات برای بهبود نتایج اجرا می‌شود. سپس مکان نهایی از الگوریتم ازدحام ذرات به عنوان جمعیت اولیه برای الگوریتم ژنتیک در نظر گرفته شده و این عمل تا رسیدن به شرط توقف ادامه می‌یابد و بهترین جواب به عنوان پاسخ در نظر گرفته می‌شود.

۳-۱- الگوریتم ژنتیک

این الگوریتم یک الگوریتم ابتکاری برای جستجوی تصادفی است که طبق تکامل زیستی عمل می‌کند. این الگوریتم‌ها در حل مسائل بهینه‌سازی سخت همچون مسئله کوله‌پشتی، مسئله مکان‌یابی وسیله حمل و نقل و ... موفق عمل می‌کند. الگوریتم ژنتیک شامل عملیات‌هایی همچون تولید جمعیت اولیه، ارزیابی تناسب، انتخاب، تقاطع و جهش است.

در این تحقیق، الگوریتم ژنتیک برای تولید جمعیت اولیه به عنوان گروهی از راه‌حل‌ها استفاده شده و سپس در هر تکرار طبق قدم‌های زیر تمامی پاسخ‌ها بهبود داده می‌شوند:



گام ۱: تولید تصادفی جمعیت اولیه از کروموزومها. i امین کروموزوم در جمعیت اولیه به صورت P_i^0 به عنوان $k \times t$ (تعداد کارکنان است که برای حل مسئله در نظر گرفته شده و به سه بخش k_1 و k_1 و k_1 به ازای هر مهارت تقسیم شده و t تعداد روزها در هر دوره برنامه ریزی است). مقدار جمعیت اولیه بین ۱ تا n است که مکان هر کارگر را در هر روز مشخص می کند.

$$P_i^0 = \begin{bmatrix} a_{11} & \dots & a_{1t} \\ \dots & \dots & \dots \\ a_{k1} & \dots & a_{kt} \end{bmatrix}_{k,t} \quad \text{where } 0 \leq a_{ij} \leq n \text{ for } i = 1 \dots k, j = 1 \dots T \quad (8)$$

همان طور که در شکل بالا نشان داده شده است، جمعیت اولیه فقط در تکرار اول به صورت تصادفی تولید شده و در تکرارهای بعد، نتیجه نهایی الگوریتم ازدحام ذرات برای جمعیت اولیه مربوط به الگوریتم ژنتیک در نظر گرفته می شود.

گام ۲: با در نظر گرفتن هر پاسخ از گام ۱، هزینه اجرای تمام پاسخها به عنوان مناسب ترین پاسخ به عنوان یک کروموزوم در جمعیت ارزیابی می شود.

گام ۳: اگر شرط توقف برقرار شود، فرآیند الگوریتم ژنتیک متوقف شده و موارد دیگر ادامه می یابد.

گام ۴: ایجاد یک جمعیت جدید از طریق عملیات انتخاب، تقاطع و جهش،

(آ) انتخاب: انتخاب دو جفت کروموزوم از یک جمعیت بر اساس میزان برزششان.

(ب) تقاطع: تولید تصادفی I_1 (مقدار صحیح بین ۱ تا k_1)، I_2 (مقدار صحیح بین ۱ تا k_2) و I_3 (مقدار صحیح بین ۱ تا k_4) و تغییر سطرهای $i_1'th$ ، $i_2'th$ ، $i_3'th$ از والدین با یکدیگر.

(پ) جهش: تغییر تصادفی دو مقدار از کروموزوم انتخابی با یکدیگر.

گام ۵: رفتن به گام ۲.

۳-۲- الگوریتم بهینه سازی ازدحام ذرات

در این تحقیق، الگوریتم بهینه سازی ازدحام ذرات برای بهبود نتیجه حاصل از الگوریتم ژنتیک طبق قدمهای زیر لحاظ شده است:

(آ) فرآیند با نتیجه تولید نهایی حاصل از الگوریتم ژنتیک آغاز می شود. هر ذره یک جواب برای مسئله ارائه می دهد.

i امین ذره توسط P_i^0 در معادله (۱) برای بهینه سازی ازدحام ذرات تخصیص داده می شود.

$$P_i^0 = \begin{bmatrix} a_{11} & \dots & a_{1t} \\ \dots & \dots & \dots \\ a_{k1} & \dots & a_{kt} \end{bmatrix}_{k,t} \quad \text{where } 0 \leq a_{ij} \leq n \text{ for } i = 1 \dots k, j = 1 \dots T \quad (8)$$

(ب) به روز رسانی مکان ذرات از طریق معادله (۹) برای هر ذره.

$$P_i^{j+1} = P_i^j + V_i^{j+1} \quad (9)$$

که در آن V_i^{j+1} سرعت i امین ذره در $j+1$ امین تکرار است که برای به روز رسانی مکان قبلی ذرات صورت می گیرد و طبق فرمول معادله (۱۰) محاسبه می شود.

$$V_i^{j+1} = V_i^j + r\alpha[P_{best,i}^j - P_i^j] + s\beta[g_{best}^j - P_i^j] \quad (10)$$

$P_{best,i}^j$ بهترین موقعیت برای i امین ذره در j امین تکرار است و درواقع بهترین موقعیت مکانی برای تمام ذرات تا j امین تکرار است. α و β پارامتری تصادفی بین ۰ و ۱ است و s به عنوان مقادیر ثابت طبق معادله (۱۵) است.





$$P_i^j = \{W_{1i}^j, W_{2i}^j, a_{1i}^j\} \quad (11)$$

$$g_{best}^j = \{W_{gbest_1}^j, W_{gbest_2}^j, a_{gbest_1}^j\} \quad (12)$$

$$P_{best,i}^j = \{W_{pbest,i_1}^j, W_{pbest,i_2}^j, a_{pbest,i_1}^j\} \quad (13)$$

$$V_i^j = \{V_{1i}^j, V_{2i}^j, V_{1i}^{j+1}\} \quad (14)$$

$$P_i^{j+1} = \{W_{1i}^j + V_{1i}^{j+1}, W_{2i}^j + V_{2i}^{j+1}, a_{1i}^j + V_{1i}^{j+1}\} \quad (15)$$

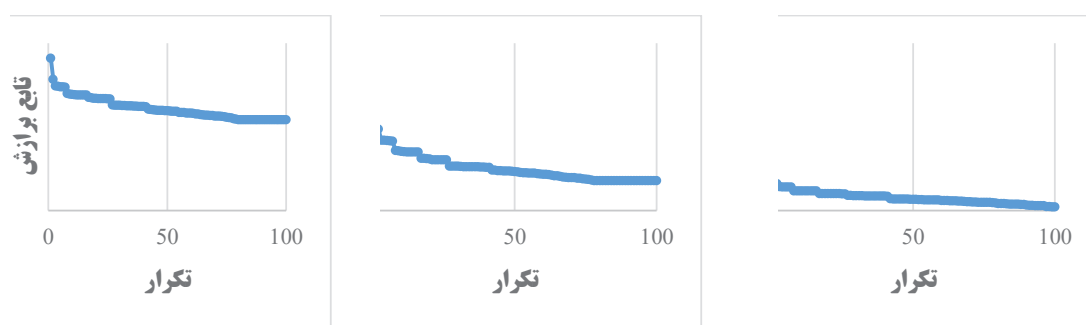
سپس مکان ذرات طبق معادله (۱۶) محاسبه می‌شود.

$$P_i^{j+1} = \{W_{1i}^j + V_{1i}^j + r\alpha[W_{pbest,i_1}^j - W_{1i}^j] + s\beta[W_{gbest_1}^j - W_{1i}^j], W_{2i}^j + V_{2i}^j + r\alpha[W_{pbest,i_2}^j - W_{2i}^j] + s\beta[W_{gbest_2}^j - W_{2i}^j], a_{1i}^j + V_{1i}^{j+1} + r\alpha[a_{pbest,i_1}^j - a_{1i}^j] + s\beta[a_{gbest_1}^j - a_{1i}^j]\} \quad (16)$$

۴- نتایج عددی

طبق مدل پیشنهادی، سه پارامتر اصلی برای تأثیر گذاشتن بر نتیجه عبارت‌اند از: (۱) تعداد مکان‌ها و مسافت بین هر مکان؛ (۲) تعداد کارگران و (۳) پارامترهای مربوط به هزینه‌ها. برای ارزیابی عملکرد مدل پیشنهادی و تأثیر بر هر پارامتر بر نتایج مدل، ما در این تحقیق سناریوهای مختلفی را برای تمامی پارامترها به صورت ده نوع مکان به عنوان ۱ تا ۱۰، ۳ نوع تعداد نیروی کار به صورت ۲، ۴ و ۷ نفر برای هر مکان و دو نوع پارامتر هزینه کم و زیاد در نظر گرفتیم. (کلاً ۶۰ سناریو) در هر سناریوی ترکیبی، مدل پیشنهادی اجرا شده و نتایج مدل پیشنهادی با مدل‌های مختلفی که توسط گولپیرا^۱ و بابایی و همکاران، جوانمرد و همکاران و کوآی و همکاران انجام شده مقایسه شده است.

مدل پیشنهادی در متلب کد نویسی شده و برای هر سناریو اجرا شده است. روند همگرایی الگوریتم ژنتیک در هر حلقه در شکل ۲ نشان داده شده است.



شکل ۲- نرخ همگرایی مدل پیشنهادی

بر اساس شکل ۲، با تکرار مراحل مدل، پاسخ‌ها به جواب بهینه نزدیک شده و محدوده تغییرات در جواب‌ها کاهش یافته و با توجه به استفاده دو الگوریتم فرا ابتکاری در این تحقیق، احتمال قرار گرفتن در نقطه بهینه محلی کمینه شده است.

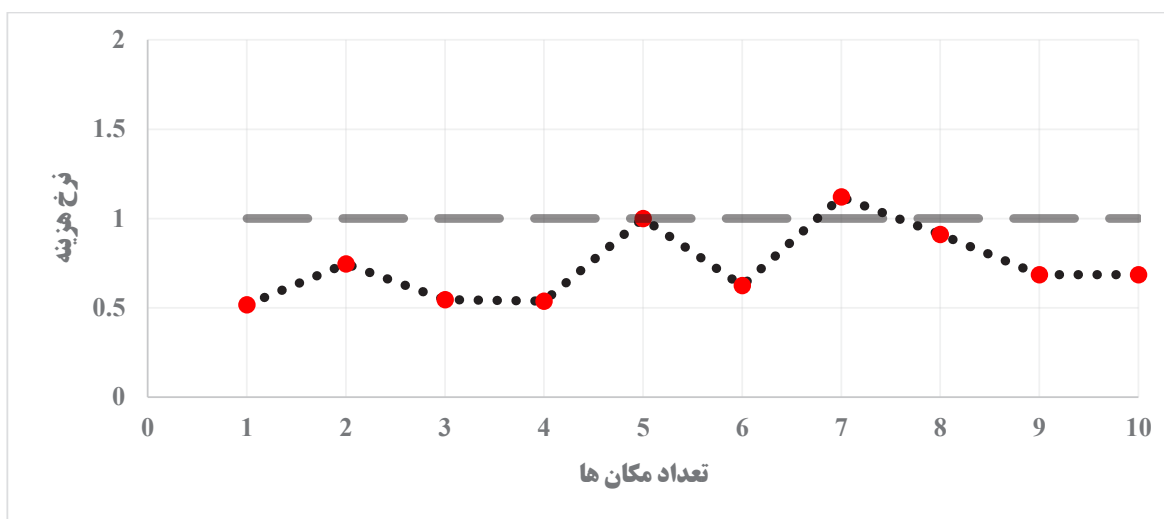
برای ارزیابی عملکرد مدل پیشنهادی، برای هر سناریو، یک نرخ هزینه به صورت زیر ارزیابی شده است:

$$CostRatio = \frac{Cost_{ProposedModel}}{Cost_i} \quad \begin{array}{l} \text{if } i=1, \text{ Golpira's Model} \\ \text{if } i=2, \text{ Koay's Model} \\ \text{if } i=3, \text{ Javanmard's Model} \end{array} \quad (17)$$

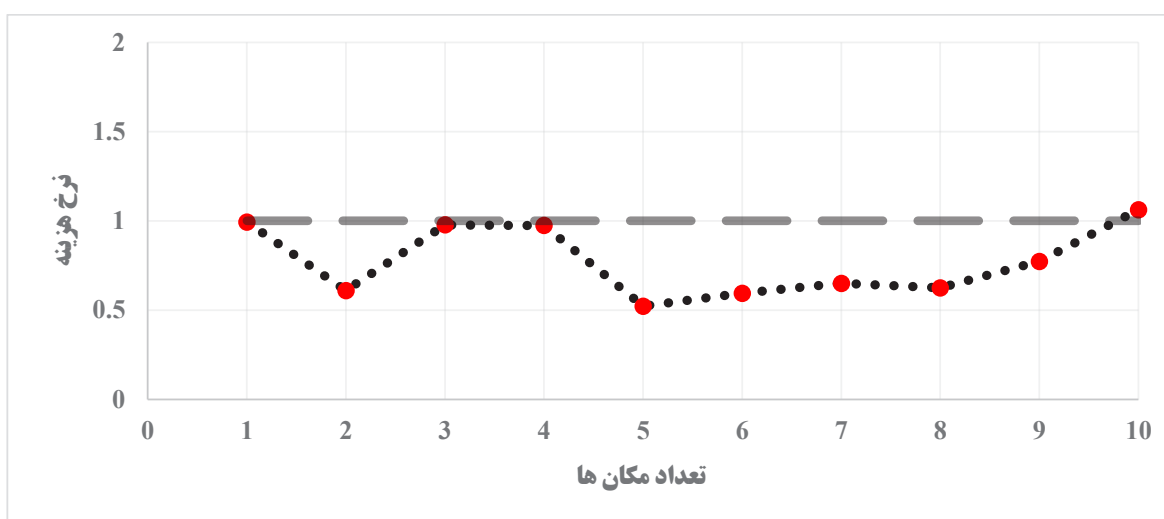
¹. Golpira



شکل ۳ تا ۸، عملکرد مدل پیشنهادی را در مقایسه با مدل‌های مختلف ارائه شده توسط گولپیرا و همکاران، جوانمرد و همکاران، کوآی و همکاران باهدف ارزیابی عملکرد پیشنهادی نشان می‌دهد.

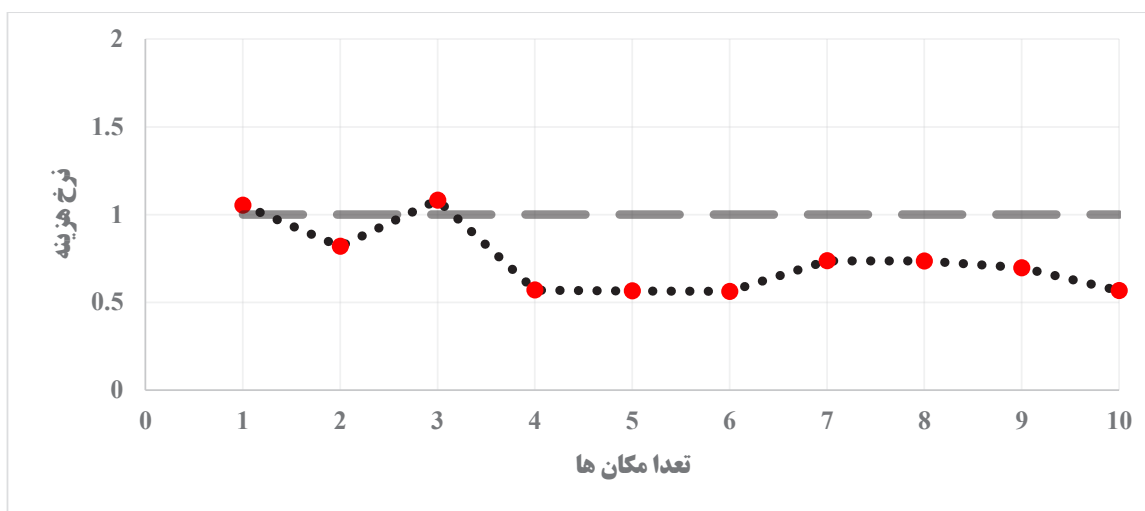


شکل ۳: مقایسه مدل پیشنهادشده با مدل Golpira با در نظر گرفتن ۲ نیروی کار و هزینه پایین برای پارامترها

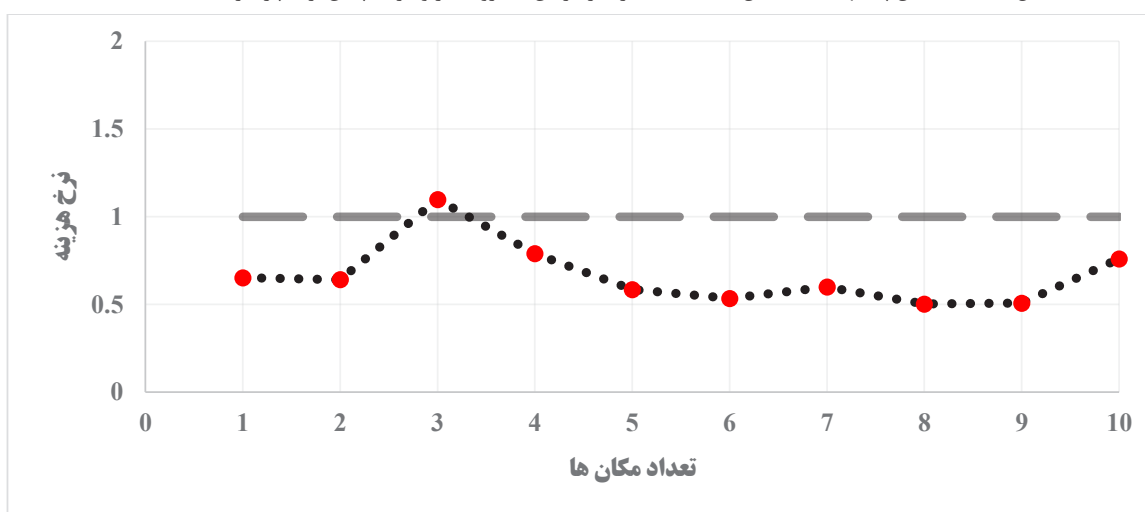


شکل ۴: مقایسه مدل پیشنهادشده با مدل Golpira با در نظر گرفتن ۴ نیروی کار و هزینه پایین برای پارامترها

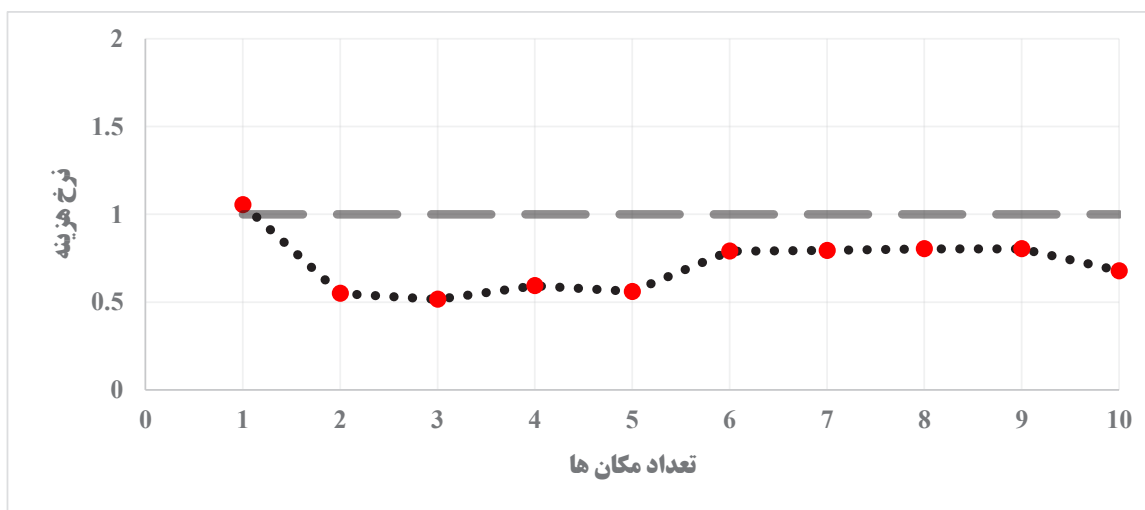




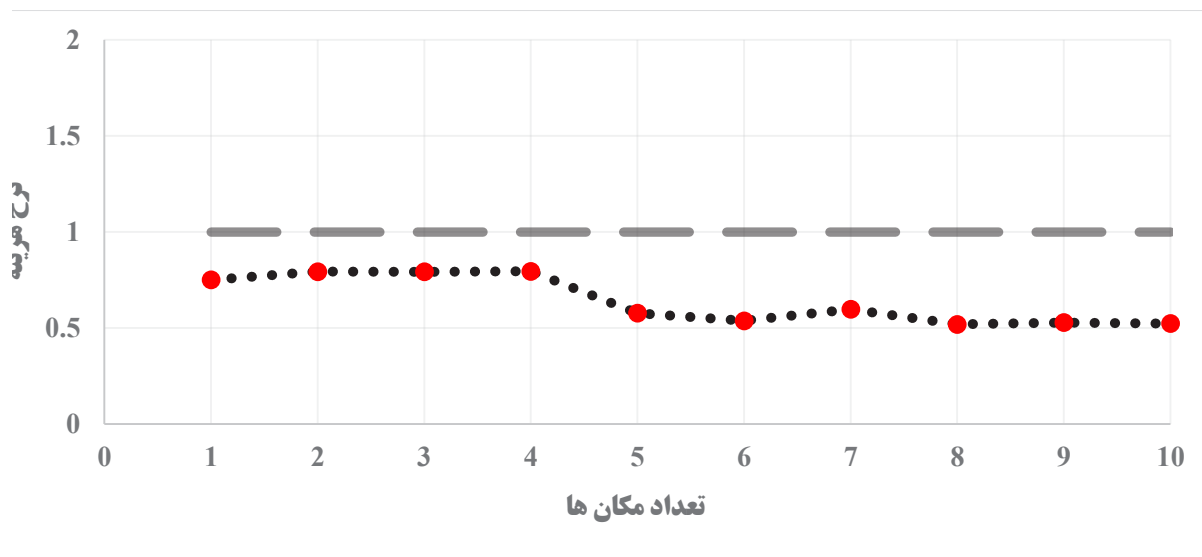
شکل ۵: مقایسه مدل پیشنهادشده با مدل Golpira با در نظر گرفتن ۷ نیروی کار و هزینه پایین برای پارامترها



شکل ۶: مقایسه مدل پیشنهادشده با مدل Golpira با در نظر گرفتن ۲ نیروی کار و هزینه بالا برای پارامترها



شکل ۷: مقایسه مدل پیشنهادشده با مدل Golpira با در نظر گرفتن ۴ نیروی کار و هزینه بالا برای پارامترها



شکل ۸: مقایسه مدل پیشنهادشده با مدل Golperia با در نظر گرفتن ۷ نیروی کار و هزینه بالا برای پارامترها

بر اساس نتایج مدل پیشنهادی در هر سناریو در مقایسه با مدل Golperia's عملکرد مدل پیشنهادی در اغلب سناریوها بهتر بوده و به طور متوسط هزینه برنامه ریزی نگهداشت بدون در نظر گرفتن هزینه قطعات در مدل پیشنهادی حدود ۳۰٪ کمتر بوده است.

برای مقایسه مدل پیشنهادی با مدل Koay's، بر اساس شکل ۳ تا ۸، مدل پیشنهادی زمان بندی بهتر با هزینه کمتری را نسبت به مدل Koay's در تمامی ۶۰ سناریو ارائه کرده و به طور متوسط هزینه برنامه ریزی نگهداشت ها بدون در نظر گرفتن هزینه قطعات در مدل پیشنهادی حدود ۳۶٪ کمتر بوده است.

برای ارزیابی مدل پیشنهادی و مدل Golperia's، آزمون فرض زیر انجام شد.

$$\begin{cases} H_0 & Cost_{ProposedModel} \leq Cost_{GolperiasModel} \\ H_1 & Cost_{ProposedModel} > Cost_{GolperiasModel} \end{cases} \quad (18)$$

بر اساس نتیجه، H_0 با سطح اطمینان ۹۰٪ پذیرفته می شود.

برای ارزیابی مدل پیشنهادی و مدل Koay's، آزمون فرض زیر انجام شد.

$$\begin{cases} H_0 & Cost_{ProposedModel} \leq Cost_{Koay'sModel} \\ H_1 & Cost_{ProposedModel} > Cost_{Koay'sModel} \end{cases} \quad (19)$$

بر اساس نتیجه، H_0 با سطح اطمینان ۹۳٪ پذیرفته می شود.

برای ارزیابی مدل پیشنهادی و مدل Javanmard's، آزمون فرض زیر انجام شد.

$$\begin{cases} H_0 & Cost_{ProposedModel} \leq Cost_{Javanmard'sModel} \\ H_1 & Cost_{ProposedModel} > Cost_{Javanmard'sModel} \end{cases} \quad (20)$$

بر اساس نتیجه، H_0 با سطح اطمینان ۹۲٪ پذیرفته می شود.

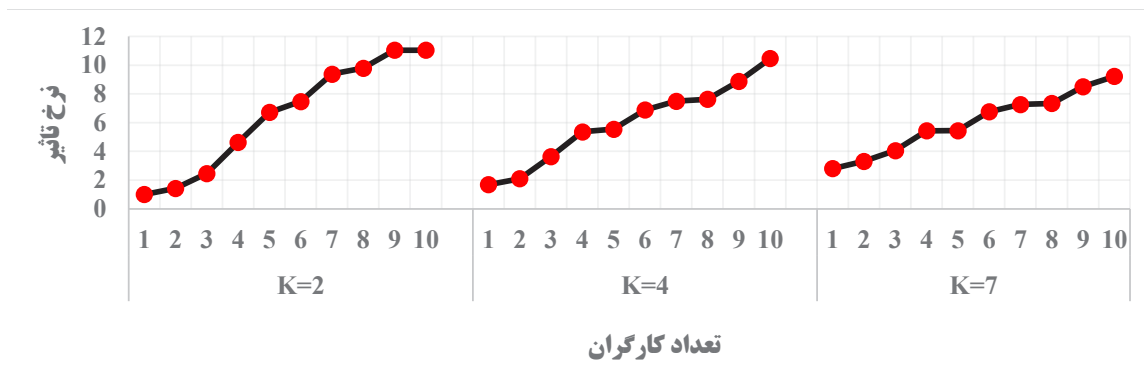
از طرفی دیگر، برای مقایسه اثرات هر پارامتر بر مقدار نتیجه، نسبت اثرگذاری برای سناریو با پارامتر هزینه کم در مقایسه با مدل Golperia's، به عنوان بهترین مدل در میان ۳ مدل Golperia's، Koay's و Javanmard's، مورد ارزیابی قرار می گیرد.





$$ImpactRatio = \frac{Cost^{k,n}_{ProposedModel}}{Cost^{2,n}_{GolperiaModel}} \quad \forall k, n \quad (21)$$

با حل مدل پیشنهادی، میزان نرخ تأثیر برای هر سناریو به‌صورت زیر ارزیابی شده است.

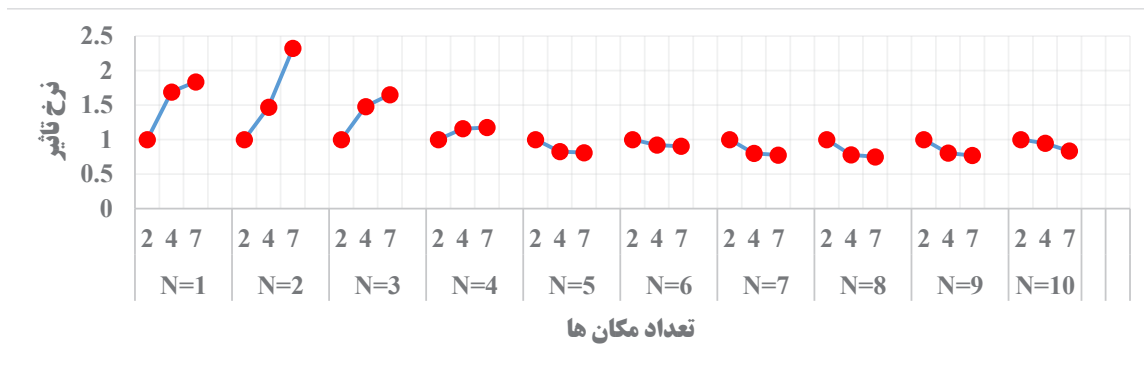


شکل ۹. مقادیر نرخ تأثیر برای مکان مختلف برای مدل پیشنهادی

بر اساس شکل ۹، هزینه نت ارتباط مستقیمی با تعداد مکان‌ها دارد اما ارتباط مستقیمی با تعداد نیروی انسانی ندارد، در برخی موارد با افزودن نیروی انسانی جدید، هزینه کل کاهش یافته و این امر وابسته به سناریو می‌باشد. به‌منظور ارزیابی اثر تعداد نیروی انسانی بر هزینه کل، فاکتور تأثیر نیروی انسانی به‌صورت معادله ۱۵ در نظر گرفته می‌شود.

$$ImpactRatio = \frac{Cost^{k,n}_{ProposedModel}}{Cost^{k,1}_{GolperiaModel}} \quad \forall k, n \quad (22)$$

نتیجه فاکتور تأثیر برای سناریو مختلف به‌صورت زیر ارزیابی شده است



شکل ۱۰. مقادیر نرخ تأثیر برای مکان مختلف برای مدل پیشنهادی

بر اساس شکل ۱۰، در برخی سناریوها با افزایش تعداد نیروی انسانی، هزینه نت افزایش یافته و در برخی موارد هزینه نت با افزایش تعداد نیروی انسانی کاهش یافته است؛ بنابراین تعداد نیروی انسانی پارامتر بسیار مهمی در زمان‌بندی نگهداری تعمیرات می‌باشد که بر هزینه کل زمان‌بندی اثر می‌گذارد و بهتر است که بهینه‌ترین تعداد نیروی انسانی قبل از حل مسئله تعیین شود.

۵- نتیجه‌گیری

در این تحقیق مدل جدیدی بر اساس مدل ترکیبی از بهینه‌سازی ازدحام ذرات و الگوریتم ژنتیک برای بهینه‌سازی مسئله زمان‌بندی نگهداری و تعمیرات معرفی شد. در این تحقیق مسئله زمان‌بندی بر اساس فرضیات زیر بنا شده است: (آ) شرکت تحت ارزیابی در سایت‌های مختلفی با مسافت مختلف از هم واقع شده است؛ (ب) کل کار نگهداری و تعمیرات برای هر مکان از قبل تعیین شده است؛ (پ) سه مهارت مکانیکی، الکتریکی و نیروی کار ساده برای انجام کارهای نگهداری و تعمیرات وجود دارد.



در این مدل، ابتدا برای بهینه‌سازی مسئله زمان‌بندی، الگوریتم ژنتیک اجرا شده و سپس نتیجه حاصل از الگوریتم ژنتیک برای مکان ذرات در الگوریتم بهینه‌سازی ازدحام ذرات در نظر گرفته شده است. با رسیدن به شرط توقف الگوریتم بهینه‌سازی ازدحام ذرات، نتیجه حاصل از بهینه‌سازی ازدحام ذرات به‌عنوان جمعیت اولیه برای الگوریتم ژنتیک در نظر گرفته شده و سپس این فرآیند تا رسیدن به شرط توقف نهایی ادامه می‌یابد.

نوآوری اصلی این تحقیق عبارت است از (آ) تعریف مسئله اصلی در مکان‌های چندتایی و در نظر گرفتن زمان‌های سفر بین هر مکان. (ب) در نظر گرفتن مهارت‌های کاری مختلف برای طرح نگهداری تعمیرات. (پ) در نظر گرفتن احتمال برون‌سپاری هر طرح. به‌منظور ارزیابی عملکرد مدل پیشنهادی، مدل پیشنهادی تحت ۶۰ سناریو با سه مدل Koay's, Gulpira's و Javanmard's مقایسه شده است و نتایج نشان داده‌اند که با استفاده از مدل پیشنهادی، می‌توان تا حدود ۳۴٪ درصد هزینه‌ها را کاهش داد.

۶- منابع و مآخذ

- [1] Grussing, M.N. and L.R. Marrano, Building component lifecycle repair/replacement model for institutional facility management, in Computing in Civil Engineering (2007). 2007. p. 550-557.
- [2] Olanrewaju, A.L. A. Idrus, and M.F. Khamidi, Investigating building maintenance practices in Malaysia: a case study. Structural Survey, 2011.
- [3] Ighravwe, D.E. and S.A. Oke, A multi-criteria decision-making framework for selecting a suitable maintenance strategy for public buildings using sustainability criteria. Journal of Building Engineering, 2019. 24: p. 100753.
- [4] Lee, H. and D. Scott, Development of a conceptual framework for the study of building maintenance operation processes in the context of facility management. Surveying and Built Environment, 2008. 19(1): p. 81-101.
- [5] Poór, P. N. Kuchtová, and M. Šimon, Machinery maintenance as part of facility management. Procedia Engineering, 2014. 69: p. 1276-1280.
- [6] Lavy, S. and I.M. Shohet, Integrated maintenance management of hospital buildings: a case study. Construction Management and Economics, 2004. 22(1): p. 25-34.
- [7] Lind, H. and H. Muyingo, Building maintenance strategies: planning under uncertainty. Property Management, 2012.
- [8] Chen, C. and L. Tang, BIM-based integrated management workflow design for schedule and cost planning of building fabric maintenance. Automation in Construction, 2019. 107: p. 102944.
- [9] Institution, B.S. Glossary of maintenance management terms in terotechnology. 1984.
- [10] Manzini, R. et al. The scheduling of maintenance. A resource-constraints mixed





- integer linear programming model. *Computers & Industrial Engineering*, 2015. 87: p. 561-568.
- [11] Duffuaa, S.O. and K. Al-Sultan, A stochastic programming model for scheduling maintenance personnel. *Applied Mathematical Modelling*, 1999. 23(5): p. 385-397.
- [12] de Jonge, B. and P.A. Scarf, A review on maintenance optimization. *European Journal of Operational Research*, 2019.
- [13] Chung, S.H. F.T. Chan, and H.K. Chan, A modified genetic algorithm approach for scheduling of perfect maintenance in distributed production scheduling. *Engineering Applications of Artificial Intelligence*, 2009. 22(7): p. 1005-1014.
- [14] Abdollahzadeh, H. K. Atashgar, and M. Abbasi, Multi-objective opportunistic maintenance optimization of a wind farm considering limited number of maintenance groups. *Renewable Energy*, 2016. 88: p. 247-261.
- [15] Wang, Y. H. Zuo, and D. Lv. Improved Multiobjective Maintenance Optimization of Aircraft Equipment Using Strength Pareto Genetic Algorithms with Immunity. in *2008 Fourth International Conference on Natural Computation*. 2008. IEEE.
- [16] Busacca, P.G. M. Marseguerra, and E. Zio. Application of Genetic Algorithms to the Multi-Objective Optimization of the Inspection Times of a Safety System of a Pressurized Water Reactor. in *Proceedings of the European Safety & Reliability International Conference (ESREL'2001)*. 2001.
- [17] Tan, Z. et al. An evaluation of maintenance strategy using risk based inspection. *Safety science*, 2011. 49(6): p. 852-860.
- [18] Siddiqui, M.A. et al. A Novel Idea for Optimizing Condition-Based Maintenance Using Genetic Algorithms and Continuous Event Simulation Techniques. *Mathematical Problems in Engineering*, 2017. 2017.
- [19] Ding, S.H. and S. Kamaruddin, Maintenance policy optimization—literature review and directions. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 2015. 76(5-8): p. 1263-1283.
- [20] Chikezie, C.U. A.T. Olowosulu, and O.S. Abejide, Multiobjective optimization for pavement maintenance and rehabilitation programming using genetic algorithms. *Arch Appl Sci Res*, 2013. 5(4): p. 76-83.
- [21] Garg, H., Fuzzy multiobjective reliability optimization problem of industrial systems using particle swarm optimization. *Journal of Industrial Mathematics*, 2013. 2013.



- [22] Deb, K. and S. Karthik. Dynamic multi-objective optimization and decision-making using modified NSGA-II: a case study on hydro-thermal power scheduling. in International conference on evolutionary multi-criterion optimization. 2007. Springer.





A New Hybrid Model Based on GA and PSO to the Optimization of Facility Maintenance Scheduling

Javad Gholami^{*1}, Seyed Ahmad Razavi Al_e_Hashem², , Seyed Abbas Safavi³

¹ Researcher, Department of Mechanical Engineering, Imam Hossein Comprehensive University. javadgholami@mecheng.iust.ac.ir.

² Researcher, Department of Industrial engineering, Imam Hossein Comprehensive University. razavi1918@gmail.com.

³Instructor and Researcher, Faculty of Defense Science & Engineering, Imam Hussein Officers and Guard Training University, Tehran, Iran. nasir.safavi@gmail.com.

Received:2020/08/18 Accepted:2020/09/18

Abstract:

With the expansion of industries and companies, the number and dimensions of buildings and facilities of organizations are increasing, which increases the value of these assets, increasing the importance of maintenance and repairs of these facilities. On the other hand, as the number of assets increases, the process of managing their maintenance and repairs becomes more difficult than in the past. It is better to define a model for scheduling the maintenance, to proposed the optimal time and order of maintenance program. In this paper, by the combination of Genetic algorithm (GA) and Particle Swarm Optimizations (PSO), a new model for scheduling maintenance for organizations with different locations is presented. The main contributions of this paper are (a) Definition of the main problem in multiple locations and consideration of travel times between each location. (b) Consideration of different work skills for maintenance plan. (c) Consideration of the possibility of outsourcing each task. Considering 10 scenarios for the number of facilities, 3 scenarios for the number of specialists in each location and 2 scenarios for the type of costs, the results show the better performance of the proposed model in compare of three different models as Gulpiras model, Koay's Model, and Javanmard's model, where the results have been shown, by using the proposed model, it is possible to reduce costs just over by 34%.

Keywords: Maintenance, Scheduling, Genetic Algorithm, Particle Swarm Optimizations.

^{*} Corresponding author mail: : sdabolfazli@ihu.ac.ir

