مجله مهندسی مکانیک مدرس، شهریور 1396، دوره 17، شماره 6، ص‌ص 59-66

ماهنامه علمی پژوهشی

مهندسی مکانیک مدرس

mme.modares.ac.ir

طراحی برنامه پرواز و تخصیص ناوگان براساس الگوریتم‌های هوشمند اصلاح‌یافته

اسماعیل خان‌میرزا[1*]، میلاد نظرآهاری[2]، مرتضی حق‌بیگی[3]

1- استادیار، مهندسی مکانیک، دانشگاه علم و صنعت ایران، تهران
2- دانشجوی دکتری، مهندسی مکانیک، دانشگاه آلبرتا، ادمونتون، کانادا
3- دانشجوی کارشناسی‌ارشد، مهندسی مکانیک، دانشگاه علم و صنعت ایران، تهران
* تهران، صندوق‌پستی 163- 16765، khanmirza@iust.ac.ir

اطلاعات مقاله

مقاله پژوهشی کامل
دریافت: 19 بهمن 1395
پذیرش: 14 اردیبهشت 1396
ارائه در سایت: 06 خرداد 1396

کلید واژگان:
برنامه پرواز
تخصیص ناوگان
الگوریتم ژنتیک چندلایه
کروموزوم طول متغیر

چکیده

طراحی برنامه پرواز و تخصیص ناوگان دو زیر مسأله اصلی برنامه‌ریزی پرواز است که بیشترین تأثیر را در هزینه‌ها و سود هواپیمایی دارند. در این مقاله مسأله یکپارچه طراحی برنامه پرواز و تخصیص ناوگان تشریح شده و یک الگوریتم ژنتیک جهت حل آن توسعه داده شده است. این مسأله چندین قید داشته و الگوریتم‌های آن از نوع جای‌گشتی با طول متغیر و چند لایه است؛ بنابراین ایجاد جمعیت اولیه تصادفی و استفاده از عملگرهای معمول الگوریتم‌های تکاملی کارآمد نخواهد بود، زیرا احتمال امکان‌پذیری پاسخ‌ها بسیار کم است. برای این منظور تابع ایجاد جمعیت اولیه براساس مفهوم حلقه و عملگرهای جدید ترکیب و جهش ابداع شده‌اند، همچنین از یک الگوریتم ژنتیک در داخل حلقه اصلی جهت بازهدایت بهینه مسافران استفاده شده است. چهار مدل با تعداد فرودگاه و ناوگان مختلف به عنوان ورودی مسأله تعریف شده و توسط الگوریتم‌های ژنتیک دو و سه جزیره‌ای مورد حل قرار گرفتند. نتایج نشان می‌دهد که در هر تکرار حلقه اصلی پاسخ‌هایی امکان‌پذیر به‌دست آمده و در پایان بهبود مناسبی در هزینه‌ها ایجاد شده است. در مدل‌های بزرگ‌تر بهبود بیشتر در هزینه‌ها و اختلاف بیشتر میان حالت دو و سه جزیره‌ای قابل مشاهده است. حالت سه جزیره‌ای پاسخ‌های بهتری را در زمان بیشتر نتیجه داده است. الگوریتم توسعه داده شده موفق به یافتن پاسخ‌های امکان‌پذیر بهینه شده است و در مسائل با ابعاد بالا که امکان یافتن پاسخ بهینه با استفاده از روش‌های مرسوم مانند برنامه‌ریزی خطی وجود ندارد می‌تواند کارامد باشد.

Schedule Design and Fleet Assignment Based on Modified Intelligent Algorithms

Esmaeel Khanmirza[1*], Milad Nazarahari[2], Morteza Haghbeigi[1]

1- Department of Mechanical Engineering, Iran University of Science and Technology, Tehran, Iran.
2- Department of Mechanical Engineering, University of Alberta, Edmonton, Canada
* P.O.B. 16765-163 Tehran, Iran, khanmirza@iust.ac.ir

ARTICLE INFORMATION

Original Research Paper
Received 07 February 2016
Accepted 04 May 2017
Available Online 27 May 2017

Keywords:
Flight Schedule
Fleet Assignment
Multi-Layer Genetic Algorithm
Variable Chromosome Length

ABSTRACT

Flight schedule design and fleet assignment are the main sub problems of the airline schedule planning which have the most effect on the costs and profit of the airline. In this paper, integrated flight schedule design and fleet assignment problem is described and genetic algorithm has been developed to solve this problem. It has a number of constraints and multi-layer permutation chromosomes with variable length. So, creating the initial population randomly and use of customary operators of evolutionary algorithms will not be efficient since the probability of feasibility is very low. For this purpose, a new function based on loop concept to create an initial population and new crossover and mutation operators has been developed. A genetic algorithm has been used within the main loop to optimize the redirection of the passengers. Four models with different numbers of airports and fleets are created as an input for the problem which has been solved by two and three islands genetic algorithms. Results show that in each iteration of the main loop, feasible answers are obtained, and finally there was a proper improvement in the costs. In larger models, there is a better Improvement in the costs and more difference between two and three islands algorithms. Three islands mode results in a better solution within a longer time. The developed algorithm can successfully find feasible optimal solution and it can be used for high-dimensional problems in which there is no possibility of finding the optimal solution by using conventional methods such as MILP.

1- مقدمه

برنامه پرواز[1] مرجع اصلی بیشتر تصمیات هواپیمایی بوده و مشخص‌کننده میزان بسیاری از سود و هزینه‌های کلی است. برنامه‌ریزی پرواز شامل تعداد زیادی متغیر تصمیم‌گیری مرتبط با هم است که بیست و چهار مورد از این متغیرها در منبع [1] بیان شده‌اند. دو روند در حل مسأله برنامه‌ریزی پرواز وجود دارد. در روش‌های اولیه به‌کار رفته توسط پژوهشگران مسأله برنامه‌ریزی پرواز به چند زیرمسأله اصلی تجزیه شده که عبارت از طراحی برنامه پرواز[2]، تخصیص ناوگان[3]، مسیریابی هواپیما[1] و برنامه‌ریزی خدمه[2] است

[1] Flight Schedule

[2] Schedule Design
[3] Fleet Assignment

برای ارجاع به این مقاله از عبارت ذیل استفاده نمایید:

Please cite this article using:

E. Khanmirza, M. Nazarahari, M. Haghbeigi, Schedule Design and Fleet Assignment Based on Modified Intelligent Algorithms, *Modares Mechanical Engineering*, Vol. 17, No. 6, pp. 59-66, 2017 (in Persian)

[Downloaded from mme.modares.ac.ir on 2024-04-20]

[DOR: 20.1001.1.10275940.1396.17.6.21.1]

[2]. این روش حل ترتیبی نام دارد که خروجی حل هر مسأله ورودی مسأله بعد را تشکیل می‌دهد و به دلیل در نظر نگرفتن وابستگی میان زیرمسأله‌ها قادر به یافتن پاسخ بهینه نیست. در روش دیگر تعدادی از این زیر مسأله‌ها به صورت یکپارچه در نظر گرفته شده‌اند. در این حالت وابستگی میان زیرمسأله‌ها لحاظ شده، ولی پیچیدگی مسأله، محاسبات و مدل‌سازی دشوارتر شده است.

طراحی برنامه پرواز و تخصیص ناوگان دو بخش اصلی برنامه‌ریزی پرواز است که بیشترین اثر را بر میزان تقاضا و سود نهایی هواپیمایی دارند. برنامه پرواز معمولاً براساس پیش‌بینی ترافیک، مسائل استراتژیک هواپیمایی و تغییرات تقاضا تعیین می‌شود [3]. مسأله طراحی برنامه پرواز، تعیین یال‌هایی جهت پرواز از مجموع یال‌های موجود در شبکه است. هزینه کلی تابع هزینه عملیاتی و هزینه ریزش[3] مسافران در تخصیص ناوگان است. هزینه عملیاتی پرواز هواپیما در یک یال شامل هزینه‌هایی مانند سوخت و تعمیرات می‌شود. هزینه ریزش بیانگر هزینه هواپیمایی در صورت از دست دادن مسافر است که به دلایلی نظیر کم‌بودن ظرفیت نسبت به تقاضا و یا تخصیص ندادن هواپیما به یک یال اتفاق می‌افتد؛ بنابراین باید هواپیمایی را به هر یال تخصیص داد که ظرفیت آن تطبیق بیشتری با تقاضای آن سفر داشته باشد [4]. تخصیص ناوگان به دو صورت روزانه و یا هفتگی مورد حل قرار می‌گیرد [5].

محققان بسیاری مسأله طراحی برنامه و تخصیص ناوگان را به صورت مجزا مورد مطالعه قرار داده‌اند. در مدل‌سازی مسأله تخصیص ناوگان دو جریان اصلی شبکه‌های اتصال[4] و شبکه‌های زمان- مکان وجود دارد [6]. در نظر گرفتن تأثیرات شبکه یکی از موضوعات اصلی در مسأله تخصیص ناوگان است. برنهارت و همکارانش در سال 2002 روش حل جدیدی ارائه دادند که تأثیرات شبکه را در سود حاصل از تخصیص ناوگان در نظر می‌گیرد و رویکرد دقیق‌تر نسبت به تنظیم جریان مسافرین دارد که موجب بهینه‌ترشدن پاسخ می‌شود [7]. امکان‌پذیر[5]نبودن پاسخ یک مرحله به عنوان ورودی برای بخش بعدی از اشکالات حل مسائل به صورت مجزاست [8]. پیامد این موضوع تلاش محققان برای حل زیر بخش‌های مختلف مسأله برنامه‌ریزی پرواز به صورت یکپارچه است. مسأله پیوسته طراحی برنامه و تخصیص ناوگان یکی از این مسائلی که در این مقاله مورد بررسی قرار گرفته است [6] و نتایج نشان داده که این رویکرد هزینه را به مقدار زیادی کاهش می‌دهد. شرالی و همکارانش در سال 2011 از روش تجزیه بندر برای حل یکپارچه مسأله طراحی برنامه و تخصیص ناوگان استفاده کردند. در مدل پیشنهادی آن‌ها جابه‌جایی تقاضا، تغییرپذیری زمان پرواز و اختلاف بهای کلاس‌های مختلف[6] در نظر گرفته شده است [9].

در این تحقیق مسأله یکپارچه طراحی برنامه پرواز و تخصیص ناوگان با استفاده از الگوریتم ژنتیک توسعه‌داده‌شده حل شده است. پرواز به صورت روزانه فرض شده و محدودیت‌ها و قوانین هواپیمایی و فرودگاه‌ها به صورت قیود در نظر گرفته شده‌اند. با در نظر گرفتن تأثیرات شبکه از مکانیزم جابه‌جایی تقاضا برای تنظیم جریان مسافرین استفاده شده است. برنامه‌ریزی پرواز در حل مسائل واقعی دارای ابعاد زیادی بوده و از پیچیدگی بالایی برخوردار است.

امروزه کاربرد الگوریتم‌های تکاملی حوزه وسیعی از علوم مانند اقتصاد، پزشکی، بخش‌های مختلف مهندسی به ویژه حوزه بهینه‌سازی را پوشش می‌دهد [10-12]. الگوریتم ژنتیک رایج‌ترین تکنیک در روش‌های محاسباتی است که در حوزه‌های مختلف علوم و بهینه‌سازی مورد استفاده قرار گرفته است. الگوریتم‌های فراابتکاری موجود قابل استفاده برای حل مسأله یکپارچه طراحی برنامه و تخصیص ناوگان نیست.

در این مقاله الگوریتم ژنتیک جهت حل مسأله یکپارچه طراحی برنامه و تخصیص ناوگان توسعه داده شده است. دو تابع ایجاد پاسخ اولیه تصادفی با استفاده از مفهوم حلقه برای امکان‌پذیری پاسخ‌های جمعیت اولیه با توجه به قیدهای پوشش، ظرفیت، تعداد، تعادل و ترکیب اولیه ایجاد شدند. این توابع متشکل از دو بخش ایجاد حلقه و تخصیص ناوگان پاسخ‌هایی امکان‌پذیر و نیز با هزینه پایین ایجاد می‌کنند. دو حالت بازهدایت مسافر برای در نظر گرفتن تأثیرات شبکه است. حالت اول از پروازهای چندیال به پروازهای تک یال و حالت دوم بازهدایت میان پروازهای تک یال است. از یک الگوریتم ژنتیک داخلی دیگر به همراه یک تابع جدید جهت بهینه‌سازی جریان مسافرین استفاده شده است. در ادامه توسعه الگوریتم ژنتیک، عملگرهای جدید جهش و ترکیب جدید با حفظ مفهوم اصلی ابداع شدند. این عملگرها توانایی انجام عملیات بر الگوریتم‌های جایگشتی چند لایه با طول متغیر را داشته و نیز پاسخ‌هایی امکان‌پذیر با توجه به قیود مسأله تولید می‌کنند.

2- تنظیم جریان مسافران[7]

هر هواپیمایی با توجه به میزان تقاضا و ظرفیت هواپیماها اقدام به هدایت مسافران می‌کند. جابه‌جایی مسافر[8] به دو صورت رخ می‌دهد. در حالت اول هواپیمایی به دلیل پر شدن ظرفیت قادر به دادن سرویس به تعداد مسافر در سفر مورد تقاضایشان نیست. این تعداد مسافر جزء ریزش‌های هواپیمایی حساب شده و بخشی از هزینه را تشکیل می‌دهند [13,6]. شرکت‌های هواپیمایی جهت کسب سود بیشتر سعی دارند تعدادی از این مسافران را به سفر جایگزین دیگری (در صورت داشتن ظرفیت) هدایت[9] کنند. البته تمامی این مسافرین با جابه‌جایی مورد تلاش هواپیمایی موافقت نکرده و تعدادی ریزش می‌کنند. این مورد از بازهدایت میان پروازهای تک یال صورت می‌گیرد. مورد دیگر بازهدایت برای جابه‌جایی مسافر از پروازهای چند یال به چند پرواز تک یال صورت می‌گیرد. اگر هواپیمایی پرواز مستقل برای یک سفر نداشته باشد، سعی در انتقال مسافر توسط چند پرواز تک یال خواهد داشت که مبدا ابتدایی و مقصد انتهایی ترکیب این چند پرواز با پرواز مطلوب مسافر یکی است. به این پروازها که توسط ترکیب پروازهای دیگر انجام می‌شود پروازهای چندیال گفته می‌شود. بازهدایت مسافر از پرواز p به پرواز r به صورت t_p^r نمایش داده می‌شود.

هر پرواز ظرفیت مشخصی دارد که توسط متقاضیان خود پرواز، مسافران هدایت‌شده از پروازهای تک یال و چند یال به آن پر خواهد شد. یک هواپیمایی تعداد بسیار زیادی یال پروازی را پوشش می‌دهد و محاسبه هزینه ریزش مسافران در حالت‌های مختلف تخصیص و انتخاب جریان مسافر برای بیشینه‌سازی سود در شبکه گسترده پرواز مسأله پیچیده‌ای است. حل این مسأله در این مقاله به روش بهینه‌سازی هوشمند توسط الگوریتم تکاملی در داخل الگوریتم اصلی صورت گرفته است. تمامی مسافران بازهدایت‌شده راضی به مسافرت با پروازهای جایگزین نخواهند شد. درصد موفقیت بازهدایت

[1] Airplane Routing
[2] Crew Scheduling
[3] Spill
[4] Connection Networks
[5] Infeasible
[6] Multiple Fare-Classes
[7] Passenger Flow Adjustment
[8] Passenger Recapture
[9] Redirect

[Downloaded from mme.modares.ac.ir on 2024-04-20]
[DOR: 20.1001.1.10275940.1396.17.6.21.1]

مسافران توسط هواپیمایی تابع میزان جذابیت پرواز پیشنهادی نسبت به دیگر پروازهای قابل انتخاب است که شاخص کیفیت خدمات[1] نام دارد [14].

3- مدل یکپارچه طراحی برنامه و تخصیص ناوگان

در این بخش مدل ایجادشده برای مسأله یکپارچه طراحی برنامه پرواز و تخصیص ناوگان روزانه تشریح شده که این مدل ورودی الگوریتم ژنتیک را تشکیل می‌دهد. هدف یافتن یک برنامه پرواز و تخصیص ناوگان به آن برنامه و نیز تعیین مقادیر بازهدایت است، به صورتی که کمترین هزینه را برای هواپیمایی درپی داشته باشد. ورودی الگوریتم یک مدل فرضی است که شامل اطلاعات مربوط به پروازهای ارائه‌شده، ناوگان‌های موجود در اختیار هواپیمایی، فرودگاه‌ها، توزیع تقاضا و پروازهای جایگزین می‌شود.

3-1- اطلاعات مدل مسأله

بخش‌های اصلی مدل مسأله عبارت از لیست پروازها، مشخصات ناوگان‌ها، مقادیر بازهدایت مسافران و عدد مشخصه بازهدایت، تعداد فرودگاه‌ها و شاخص کیفیت خدمات است. برخی از اطلاعات اشاره‌شده از ابتدا مشخص نبوده و در طول اجرای الگوریتم کامل و یا به‌روزرسانی خواهند شد.

3-1-1- لیست پرواز

لیست پرواز دارای اطلاعات مربوط به تمام پروازهای قابل ارائه به بازار توسط هواپیمایی است که شامل مختصات یال‌ها، تقاضا، مسافت، زمان پرواز، زمان فرود، قیمت بلیط، پروازهای جایگزین و ناوگان تخصیص یافته می‌شود. تمام پروازها اختیاری در نظر گرفته شده‌اند. اطلاعات مربوط به زمان فرود و ناوگان اختصاص داده شده در مدل ورودی به مسأله در ابتدا مشخص نیست و در فرایند حل توسط الگوریتم مشخص خواهد شد. مختصات یال‌ها شامل فرودگاه مبدا و مقصد بوده و در پروازهای چند یال شامل فرودگاه‌های میانی نیز می‌شود. هیچ ناوگان مجزایی به پروازهای چند یال اختصاص نمی‌یابد و متقاضیان این پروازها به پروازهای تک یال تشکیل‌دهنده آن بازهدایت می‌شوند. برای نمونه پروازهای جایگزین برای یک برنامه پرواز ساده به صورت جدول 1 ارائه شده است.

3-1-2- مشخصات ناوگان‌ها

هر شرکت هواپیمایی دارای تعدادی ناوگان است. مشخصات ناوگان‌ها در این مدل شامل تعداد هواپیما، ظرفیت، هزینه به ازای یک کیلومتر پرواز و سرعت پرواز است. هر کدام از این مشخصه‌ها در مراحل مختلف حل مسأله تأثیرگذار است. ظرفیت هواپیماهای هر ناوگان و میانگین تقاضای پروازهای هر حلقه‌ها، پارامترهای تعیین‌کننده در تخصیص ناوگان است. تعداد هواپیماهای هر ناوگان و افراز حلقه‌ها و ترکیب ناوگانی فرودگاه‌ها در ابتدا و انتهای برنامه پروازی روزانه را مشخص می‌کنند، همچنین ظرفیت هر ناوگان در تعیین جریان مسافران و بازهدایت آن‌ها تأثیرگذار است. در انتها با توجه به برنامه پرواز نهایی ترکیب ناوگان و توزیع مسافران، هزینه عملیاتی مربوط به هر پرواز با توجه به طول مسیر و ناوگان اختصاص‌یافته مشخص می‌شود. موارد اشاره شده در این بخش تأثیر مستقیم بر هزینه نهایی هواپیمایی دارد که در بخش‌های پسین شرح داده شده است.

3-1-3- بازهدایت مسافر و عدد مشخصه بازهدایت

با در نظر داشتن پر کردن تمام صندلی‌های هواپیمایی به عنوان هدف اولویت در بازهدایت مسافر با پروازهای چندیال است. پس از بازهدایت این مسافران نوبت به متقاضیان خود پرواز است و در انتها مسافران اضافی پروازهای تک یال دیگر بازهدایت می‌شوند. از آن‌جایی که پیش از بازهدایت پروازهای تک یال نیاز به دانستن وضعیت نهایی ظرفیت هواپیماها احساس می‌شود این مرحله در انتها و پیش از محاسبه هزینه انجام می‌شود. اطلاعات این بخش از مدل مخصوص بازهدایت پروازهای چند یال به ترکیبی از پروازهای تک یال است. برای هر پرواز تک یال پروازهای بازهدایت شده به آن، شماره مشخصه بازهدایت مربوط به هر یک، تعداد مسافر بازهدایت شده و ظرفیت هواپیما درج شده است. از آن‌جایی که بازهدایت به صورت مرحله‌ای اتفاق می‌افتد و ظرفیت هواپیما و تعداد مسافر بازهدایت شده در هر مرحله از الگورتیم به‌روزرسانی می‌شود تا در تخصیص مسافر به آن و بازهدایت مسافر در نظر گرفته شود.

شماره مشخصه برای صحیح بودن میزان بازهدایت مسافر از پرواز چند یال به چند پرواز تک یال و نیز بهنیه‌سازی مقادیر بازهدایت تعریف شده است. جدول 1 را در نظر بگیرید، تعداد مسافر بازهدایت شده از پرواز 4 به 3 برابر با تعداد مسافر بازهدایت شده از پرواز 4 به 2 است. این برابری برای دیگر بازهدایت‌ها نیز باید صحیح باشد. برای رعایت این برابری به هر بازهدایت یک عدد مشخصه داده شده است. عدد مشخصه بازهدایت هر پرواز چند یال به هرکدام از پروازهای تک یال جایگزینش برابر هم است.

3-1-4- شاخص کیفیت خدمات

درصد بازهدایت موفق یک هواپیمایی به یک پرواز بستگی به کیفیت پرواز جایگزین دارد. کیفیت پرواز تابع زمان پرواز، طول سفر، تعداد توقف‌ها، نوع هواپیما و هزینه پرواز است [15,7]. البته کیفیت واقعی یک پرواز در مقایسه با پروازهای مشابه خود هواپیمایی و هواپیمایی‌های دیگر مشخص می‌شود، اما این مسأله نیاز به داشتن اطلاعات پرواز هواپیمایی رقیب است و در مدل‌سازی‌ها در نظر گرفته نمی‌شود [8]. کیفیت سرویس در ابتدای حل توسط تابع تعیین کیفیت پرواز برای تمام پروازهای جایگزین مشخص می‌شود. کیفیت پرواز برای بازهدایت میان پروازهای تک یال و بازهدایت از پروازهای چندیال به تک یال به دو صورت متفاوت است. برای بازهدایت از هر پرواز تک یال به پرواز تک یال دیگر سه پارامتر مورد ارزیابی قرار می‌گیرد و با توجه به آن‌ها درصد رضایت مشتری از بازهدایت مشخص می‌شود. این سه پارامتر عبارت از اختلاف مدت زمان پرواز اصلی و پرواز جایگزین، اختلاف زمان خیز پرواز اصلی و پرواز جایگزین و اختلاف هزینه پرواز اصلی و پرواز جایگزین است. پارامترهای مورد ارزیابی برای بازهدایت پروازهای چند یال به ترکیبی از پروازهای تک یال، شامل تعداد توقف‌های سفر جایگزین و زمان صرف‌شده در توقف‌های بین یال‌ها نیز می‌شود. در انتها درصد موفقیت بازهدایت مربوط به تمام پروازها مشخص شده و در لیست اطلاعات مدل مسأله ثبت می‌شود.

جدول 1 پروازهای جایگزین برای یک برنامه پرواز ساده

Table 1 Alternative flights for a simple flight schedule

شماره پرواز	مختصات یال‌ها	شماره پروازهای جایگزین
1	a-b	2
2	a-b	1
3	b-c	-
4	a-b-c	[2-3]
5	c-d	-
6	b-c-d	[3-5]

[1] Quality of Service Index

[Downloaded from mme.modares.ac.ir on 2024-04-20]
[DOR: 20.1001.1.10275940.1396.17.6.21.1]

3-2- هزینه‌ها و سود

با توجه به ظرفیت هواپیماهای اختصاص داده شده به تمام پروازها مبلغ بلیط‌ها و هزینه عملیاتی هر یک از آن‌ها بیشترین سود ممکن محاسبه می‌شود، ولی امکان ریزش در مسافران نیز وجود دارد. با توجه به این موضوع سود و هزینه نهایی با محاسبه موارد زیر مشخص می‌شود [13,7].

- هزینه عملیاتی: هزینه پرواز انواع هواپیماها در یال‌های مختلف است.
- هزینه ریزش: در واقع مقدار سود از دست رفته هواپیمایی به دلیل کمبود ظرفیت هواپیما و یا عدم موفقیت در بازهدایت مسافران است.
- سود حاصل از جابه‌جایی تقاضا: برابر با سودی که هواپیمایی با جابه‌جایی مسافران به دیگر پروازها کسب کرده است.

3-3- قیود مسأله

قیدهای مسأله یکپارچه طراحی برنامه پرواز و تخصیص ناوگان شامل موارد زیر می‌شود که تمامی این قیود در مدل‌سازی و حل مسأله در نظر گرفته شده است.

- پوشش: عدم تخصیص بیش از یک هواپیما به هر یال
- ظرفیت: عدم پذیرش مسافر در یک یال به تعداد بیش از ظرفیت هواپیمای تخصیصی به آن
- تعداد: برابری تعداد هواپیماهای تخصیصی از یک ناوگان و تعداد موجود در فرودگاه‌ها با تعداد موجودی ناوگان در هر زمان
- تعادل: ثابت ماندن ترکیب ناوگانی فرودگاه‌ها در ابتدا و انتهای برنامه روزانه
- تعداد اولیه: فراهم بودن تعداد تعداد هواپیمای مورد نیاز از هر ناوگان در ابتدای برنامه پرواز

4- حل به روش الگوریتم ژنتیک توسعه داده‌شده

الگوریتم‌های فراابتکاری براساس یک جمعیت اولیه آغاز به‌کار می‌کنند. جمعیت اولیه متشکل از تعدادی پاسخ اولیه برای مسأله است و این پاسخ‌ها به صورت تصادفی ایجاد می‌شوند. الگوریتم‌های تکاملی ساختار یکسانی دارند، ولی در حل مسائل مختلف باید تغییرات و اصلاحاتی را در آن‌ها جهت تطبیق الگوریتم با مسأله و افزایش قدرت آن ایجاد کرد. این اصلاحات شامل نحوه ایجاد جمعیت اولیه و کارکرد عملگرها می‌شود. هر مسأله تابع هزینه مخصوص به خود را دارد. برای تطبیق الگوریتم‌های ژنتیک جهت حل مسأله یکپارچه طراحی برنامه پرواز و تخصیص ناوگان و نیز افزایش قدرت الگوریتم، توابع و عملگرهای جدید ابداع شده‌اند. این تطبیق شامل موارد زیر می‌شود که هر یک در بخش‌های بعد تشریح شده است.

- ایجاد پاسخ اولیه امکان‌پذیر توسط دو تابع ایجاد حلقه و تخصیص ناوگان
- تابع بهینه‌سازی درونی جهت بازهدایت مسافر
- عملگرهای مخصوص برای الگوریتم‌ها با حفظ چارچوب عملگرهای اصلی، برای الگوریتم‌های جای‌گشتی با طول متغیر و نیز حفظ امکان‌پذیری پاسخ

4-1- ایجاد جمعیت اولیه امکان‌پذیر

در شیوه ابداع شده در این مقاله پاسخ‌های اولیه قیود مسأله را ارضا کرده و نیز پاسخ‌هایی با هزینه کم ایجاد می‌کنند. روند ایجاد جمعیت اولیه دارای دو مرحله است:

- ایجاد افرازی از حلقه‌ها از میان لیست پروازها و تخیص ناوگان به آن‌ها
- تعیین بازهدایت پروازهای چند یال به تک یال و تعیین هزینه کلی

پاسخ‌های خروجی از تابع ایجاد جمعیت آرایه‌هایی است با طول متغیر، چند لایه و با ماهیت جای‌گشتی که شامل موارد زیر است.

- افراز حلقه‌های تشکیل‌شده از لیست پرواز
- ناوگان‌های اختصاص داده شده به حلقه‌ها
- لیست پرواز تکمیل‌شده
- لیست بازهدایت نهایی‌شده
- توزیع ابتدایی ناوگان‌ها در فرودگاه‌ها
- توزیع تقاضا و ظرفیت در حلقه‌ها

ساختار لایه‌ای در پاسخ‌های تولیدشده دارای چندین مزیت است. یکی این که به تمام مشخصات مهم پاسخ علاوه‌بر هزینه می‌توان دسترسی داشت. دیگر امکان ایجاد عملگرها با پاسخ امکان‌پذیر فراهم می‌شود. برای ایجاد افراز حلقه‌ها و تخیص ناوگان یک تابع ایجاد پاسخ امکان‌پذیر ابداع شده که خود شامل دو تابع است که خروجی تابع اول بخشی از ورودی تابع دوم را تشکیل می‌دهد.

- تابع ایجاد افرازی از حلقه‌ها
- تابع تخصیص ناوگان به حلقه‌ها

4-1-1- افراز حلقه‌ها

یکی از قیود اصلی مسأله قید تعادل است که طبق آن ترکیب ناوگانی فرودگاه‌ها در ابتدا و انتهای برنامه پرواز باید یکسان باشد. با ابداع مفهوم حلقه این قید برقرار خواهد بود. حلقه مجموعه‌ای از یال‌هاست که یک مسیر بسته را تشکیل می‌دهد و توسط هواپیماهایی از ناوگان مشخص پرواز می‌شود. در مفهوم حلقه دو عنصر زمان و موقعیت وجود دارد. مقصد هر کدام از یال‌های حلقه مطابق با مبدا یال بعدی و زمان پرواز یک یال بعد از زمان فرود یال قبلی است. برای نمونه در شکل 1 که شامل 4 فرودگاه، دو حلقه قابل مشاهده است.

ورودی‌های تابع ایجاد افراز حلقه شامل حداکثر طول حلقه مجاز، مدل مسأله و سیاست تشکیل حلقه می‌شود. روند تشکیل حلقه با انتخاب یک پرواز تک یال به صورت تصادفی به عنوان نخستین پرواز حلقه آغاز می‌شود. با توجه به پرواز انتخابی مجموعه‌ای از پروازها به عنوان نامزد برای پرواز بعدی مشخص می‌شوند. از میان پروازهای این مجموعه یک پرواز براساس سیاست تشکیل حلقه تشریح شده در ادامه انتخاب می‌شود. این روند تا زمانی که یکی از موارد زیر رخ دهد ادامه می‌یابد.

- موقعیت فرود پرواز انتخاب شده مطابق با موقعیت ابتدایی پرواز ابتدایی حلقه باشد (حلقه بسته شود).
- پروازهای انتخاب شده به تعداد حداکثر اندازه حلقه برسند.

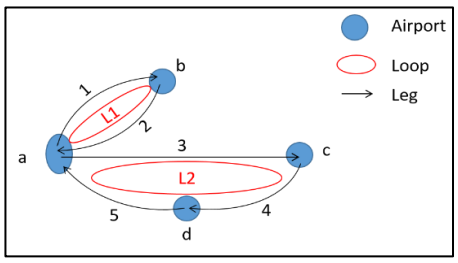

Fig. 1 Example for the Loops of the flight network

شکل 1 مثال برای نمایش حلقه‌های شبکه پرواز

[Downloaded from mme.modares.ac.ir on 2024-04-20]
[DOR: 20.1001.1.10275940.1396.17.6.21.1]

در حالت اول حلقه کامل شده و ایجاد حلقه دیگر شروع می‌شود. در حالت دوم لیست برای یافتن پروازی کامل‌کننده حلقه جستجو می‌شود. در صورت یافتن چنین پروازی حلقه کامل‌شده و ایجاد حلقه دیگر آغاز می‌شود، در غیر این صورت این حلقه کامل نشده و روند از نو آغاز می‌شود. هر پرواز انتخاب شده برای تشکیل حلقه از لیست پروازها حذف می‌شود. این پروسه تا زمانی تکرار می‌شود که امکان تشکیل حلقه با پروازهای باقی‌مانده وجود نداشته باشد که این پروازها از لیست هواپیمایی حذف می‌شوند. در نتیجه با حذف برخی پروازها در این بخش برنامه پرواز اولیه تغییر می‌کند. با توجه به محدودیت‌های پروازی ناشی از تعمیرات و نگهداری، زمان پرواز و درنتیجه تعداد یال‌های پروازی یک هواپیما زیاد نمی‌تواند باشد. خروجی‌های تابع تشکیل حلقه عبارت از افراز حلقه‌ها، میانگین و انحراف معیار تقاضای مربوط به اعضای هر حلقه است.

4-1-2- تخصیص ناوگان به حلقه‌ها

این تابع دو کارکرد اصلی دارد، ابتدا یک ناوگان به هر حلقه اختصاص می‌دهد و در انتها ترکیب ناوگانی تمام فرودگاه‌ها در ابتدای برنامه پرواز را مشخص می‌کند. سیاست تخصیص ناوگان براساس میانگین تقاضای حلقه و ظرفیت ناوگان صورت می‌گیرد. ناوگانی انتخاب می‌شود که ظرفیت آن کمترین اختلاف را با تقاضا داشته باشد تا از ریزش مسافران و یا وجود صندلی خالی پیشگیری شده و هزینه‌ها کاهش یابد. قید تعداد پس از تخصیص ناوگان به هرکدام از حلقه‌ها بررسی می‌شود. در صورت عدم رعایت این قید یک تابع دیگر فراخوانی می‌شود که وظیفه اصلاح تخصیص ناوگان را برای ارضا قید تعداد دارد. در این تابع ابتدا ناوگان‌هایی که تعداد هواپیمای بیش از موجودیشان تخصیص داده شده است مشخص می‌شوند؛ سپس برای هر یک از آن‌ها روند زیر تکرار می‌شود.

ناوگانی که بیشترین تخصیص غیرمجاز را داشته انتخاب می‌شود که p می‌نامیم، سپس ناوگان‌ها با تعداد هواپیمای تخصیص نیافته مشخص می‌شوند که این مجموعه را q می‌نامیم. به ترتیب از ناوگان با بیشترین موجودی اضافی از مجموعه q هواپیما گرفته شده و به یال‌هایی اختصاص داده می‌شود که ناوگان p به آن‌ها اختصاص یافته بود. در این روند اختلاف میان تعداد هواپیمای در دسترس و تعداد مورد نیاز همیشه در نظر گرفته می‌شود. این روند برای تمام ناوگان‌ها با تعداد تخصیص بیش از موجودی ادامه پیدا می‌کند. در انتها قید تعداد دوباره بررسی شده و در صورت عدم ارضا روند بالا دوباره تکرار می‌شود. این تکرار دارای تعداد حداکثر است. اگر در این تکرارها قید تعداد ارضا شد، تابع تخصیص ناوگان وارد مرحله بعد می‌شود و در صورت عدم ارضا وضعیت پاسخ امکان‌ناپذیر اعلام می‌شود. اگر در انتها امکان تخصیص ناوگان به پروازی وجود نداشته باشد آن پرواز از لیست حذف می‌شود.

در مرحله بعد ترکیب ناوگانی تمام فرودگاه‌ها در ابتدای برنامه پروازی مشخص می‌شود. با توجه به زمان‌های پرواز و فرود هواپیماهای ناوگان فرضی در شکل 2 این فرودگاه نیاز به 3 فروند هواپیما از این نوع ناوگان در ابتدای برنامه پرواز روزانه خود دارد. در انتها اطلاعات لیست پروازها برای پاسخ‌های ایجادشده کامل می‌شود. ناوگان اختصاص‌یافته به هر پرواز ثبت شده و با توجه به سرعت آن زمان فرود مشخص می‌شود. در بخش مربوط به اطلاعات بازهدایت مدل مسأله ظرفیت موجود پرواز برابر با اختلاف ظرفیت ناوگان اختصاص یافته و تعداد بازهدایت از پروازهای چندیال تعیین می‌شود. این ظرفیت در مراحل بعدی تخصیص مسافر به پروازها به‌روزرسانی می‌شود.

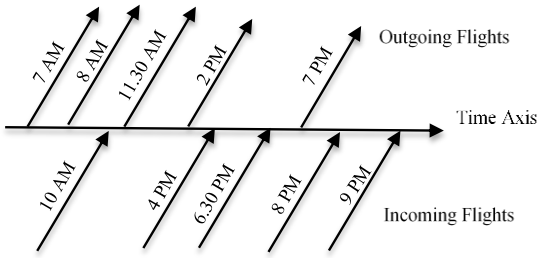

Fig. 2 Simple example of the flight schedule of a fleet in an airport
شکل 2 مثال ساده برنامه زمانی پروازها برای یک ناوگان در یک فرودگاه

خروجی‌های این تابع عبارتند از:

- ناوگان اختصاص‌یافته به هر حلقه
- امکان‌پذیر بودن یا نبودن پاسخ
- تعداد هواپیماهای استفاده شده از هر ناوگان
- لیست پرواز تکمیل‌شده
- لیست بازهدایت تکمیل‌شده
- ترکیب ناوگانی فرودگاه‌ها

4-1-3- بهینه‌سازی مقادیر بازهدایت مسافر

در این تابع مقادیر بهینه بازهدایت از پروازهای چندیال به پروازهای تک یال مشخص می‌شود. هدف تعیین نرخ بازهدایت به صورتی است که احتمال خالی ماندن صندلی هواپیماهای اختصاص یافته به پروازها کمترین حالت ممکن باشد؛ بنابراین اولویت بازهدایت با پروازهای چندیال است. این بخش خود یک الگوریتم ژنتیک است که در داخل الگورتم اصلی اجرا می‌شود. ورودی‌های این الگوریتم شامل پاسخ‌های اولیه تولیدشده در مراحل پیشین و شماره تکرار الگوریتم اصلی است. خروجی این بخش نیز بهترین مقادیر بازهدایت پروازهای چند یال و مدل به‌روزرسانی شده است. برای هر پاسخ اولیه تولیدشده در مراحل پیشین چندین ترکیب مختلف بازهدایت به عنوان جمعیت اولیه تشکیل می‌شود و سپس عملگرها بر پاسخ‌ها اعمال شده و بهترین پاسخ به عنوان ترکیب بازهدایت نهایی تعیین می‌شود.

الگوریتم‌های جمعیت اولیه شامل چینشی تصادفی از اعداد مشخصه مربوط به بازهدایت پروازهای چندیال است. فرایند تشریح شده به ترتیب برای هر عدد مشخصه مربوط به بازهدایت در ادامه اجرا می‌شود. با توجه به لیست مربوط به بازهدایت و عدد مشخصه مندرج در مدل مسأله دو دسته پرواز مشخص می‌شود: پروازی که بازهدایت (t_p^r) از آن صورت گرفته (پرواز p) و پروازهایی که هدف بازهدایت بوده‌اند (پروازهای r). مقدار بازهدایت نهایی با توجه به مقادیر ظرفیت در دسترس هر پرواز r و مقدار بازهدایت مطلوب مشخص می‌شود. در هر تکرار حلقه اصلی الگوریتم ژنتیک این بخش عملیات زیر بر مجموعه الگوریتم‌ها انجام می‌شود.

ابتدا تعدادی از الگوریتم‌ها با استفاده از روش چرخ رولت[1] به عنوان والدین جهت عملیات ترکیب انتخاب می‌شوند. برای این مسأله از سه علمگر ترکیب جای‌گشتی ترتیبی[2]، بازترکیبی لبه[3]، و نقشه‌برداری جزئی[4] استفاده شده است. در هر تکرار یکی از این سه عملگر ترکیب به صورت تصادفی انتخاب شده و بر والدین اعمال می‌شود و جمعیت فرزندان را تولید می‌کند.

[1] Roulette wheel
[2] Order Crossover
[3] Edge Recombination Crossover
[4] Partially Mapped Crossover

[Downloaded from mme.modares.ac.ir on 2024-04-20]
[DOR: 20.1001.1.10275940.1396.17.6.21.1]

سپس تعدادی از جمعیت به صورت تصادفی برای عمل جهش انتخاب می‌شوند. برای جهش از چهار عملگر جهش جای‌گشتی تعویض، معکوس‌سازی، الحاق و درهم[1] استفاده شده است که در هر تکرار یکی به صورت تصادفی انتخاب شده و عمل می‌کند. جمعیت جدید شامل جمعیت اولیه، فرزندان و جهش‌یافتگان است. مقادیر بازهدایت مربوط به هر کدام از اعضای جمعیت تعیین شده و سپس توسط تابع هزینه مورد ارزیابی قرار می‌گیرد. این روند تا رسیدن به شرط پایان الگوریتم ادامه پیدا می‌یابد.

4-2- تابع هزینه

تابع هزینه در مرحله ایجاد جمعیت اولیه و در حلقه اصلی الگوریتم ژنتیک برای تعیین مقادیر بازهدایت مربوط به پروازهای تک یال و سنجش هزینه کل برنامه پرواز هواپیمایی به‌کار می‌رود.

4-2-1- بازهدایت پروازهای تک یال

ابتدا مقادیر بازهدایت مربوط به پروازهای تک یال مشخص می‌شود. اختلاف ظرفیت هواپیماهای اختصاص یافته و تقاضای مستقیم برای این پروازها محاسبه می‌شود. باید دقت کرد که منظور از ظرفیت، ظرفیت به‌روزرسانی‌شده هواپیما پس از بازهدایت پروازهای چندیال است. در این مرحله دو نوع پرواز مشخص می‌شود:

- پروازهای با ظرفیت اضافی: پروازهای با ظرفیت خالی که می‌توانند جایگزین پروازهای دیگر باشند و با r نشان داده می‌شوند. تمام مسافران به پرواز اختصاص داده شده و ظرفیت باقی‌مانده هواپیما محاسبه می‌شود.
- پروازهای با ظرفیت کم: پروازهای با ظرفیت کمتر که به تعداد ظرفیت موجود مسافر اختصاص داده شده و باقی مسافران در صورت امکان مورد بازهدایت قرار می‌گیرند و در غیر این صورت جزء ریزش‌ها خواهند بود. اطلاعات مربوط به شماره پرواز و تعداد ریزش‌های این پروازها در آرایه به نام u ذخیره می‌شود.

برای تمام پروازهای r روند تشریح شده در ادامه صورت می‌پذیرد. ابتدا تمام پروازهای قابل بازهدایت به پرواز r با توجه به اطلاعات مدل مسأله مشخص می‌شوند. اگر پروازهای یافت شده جزو u نباشند، هیچ اتفاقی نخواهد افتاد. در غیر این صورت پروازهایی یافت شده از u انتخاب می‌شوند و مجموعه P را تشکیل می‌دهند. برای تمام پروازهای P به ترتیب عملیات زیر ادامه پیدا می‌کند.

ابتدا تعداد مسافر اضافی هر پرواز با استفاده از اطلاعات آرایه u تعیین می‌شود. تعداد مسافر بازهدایت شده با توجه به ظرفیت پرواز r، تعداد مسافر اضافی هر پرواز P و درصد موفقیت بازهدایت تعیین می‌شود، سپس ظرفیت پرواز r و تعداد مسافر اضافی پرواز P به‌روزرسانی می‌شوند. اگر ظرفیت برای پرواز r باقی مانده بود این روند برای پرواز P دیگر تکرار می‌شود. آرایه‌ای به نام rd تشکیل شده و اطلاعات مربوط به شماره پرواز r، P و تعداد مسافر بازهدایت شده در آن ثبت می‌شود.

4-2-2- محاسبه هزینه

بخش‌های مختلف هزینه و سود در بخش سوم تشریح شد. برای محاسبه هزینه عملیات هر پرواز، هزینه به ازای هر کیلومتر پرواز ناوگان تخصیص داده شده در مسافت پرواز ضرب می‌شود. هر دو این اطلاعات از اطلاعات مندرج در مدل مسأله استخراج می‌شود. هزینه و سود مربوط به بازهدایت مسافران نیز با توجه به اطلاعات آرایه‌های u و rd مشخص شده در بخش پیشین محاسبه می‌شود. هزینه نهایی با جمع هزینه‌های عملیاتی و ریزش و کاستن سود حاصل از بازهدایت به‌دست می‌آید.

4-3- حل الگوریتم ژنتیک

الگوریتم ژنتیک با ایجاد پاسخ‌های امکان‌پذیر به نام کروموزوم آغاز می‌شود. الگوریتم‌های تولید شده دارای طول متغیر و چندین لایه هستند و اطلاعات مربوط به حلقه‌های پروازی، ناوگان‌های اختصاص داده شده به آن‌ها، مقادیر بهینه بازهدایت و دیگر مشخصات اصلی برنامه پرواز را شامل می‌شوند. هزینه نهایی پاسخ‌ها توسط تابع هزینه تعیین و سپس جمعیت اولیه وارد حلقه اصلی الگوریتم می‌شود. روند حل این الگوریتم در شکل 3 قابل مشاهده است. حلقه اصلی شامل بخش‌های ایجاد جمعیت جدید، انتخاب، ترکیب و جهش، ادغام و مهاجرت است.

4-3-1- تولید مثل

امکان‌پذیری پاسخ‌ها (ارضا تمامی قیود مسأله) باید در تمام مراحل الگوریتم حفظ شود؛ بنابراین برای ترکیب و جهش به ابداع عملگرهای جدید مناسب برای حل این مسأله نیاز است که در بخش‌های پسین تشریح شده‌اند.

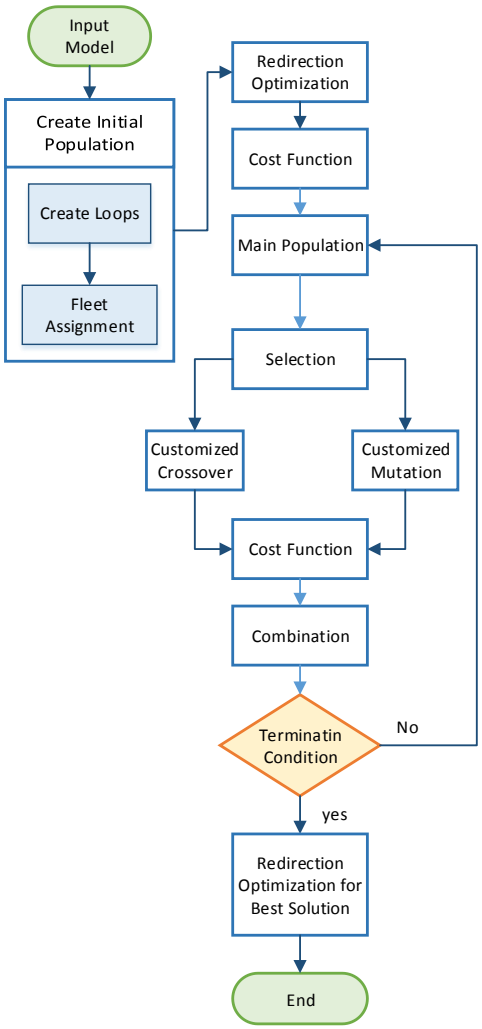

Fig. 3 Process of the developed Genetic algorithm

شکل 3 روند حل الگوریتم ژنتیک توسعه‌یافته

[1] Scramble

[Downloaded from mme.modares.ac.ir on 2024-04-20]
[DOR: 20.1001.1.10275940.1396.17.6.21.1]

برخلاف مسائل معمول فرزند حاصل از عملگر ترکیب شباهت کمی به والدین خود خواهد داشت. حتی اگر دارای حلقه‌های مشابه والیدن خود باشد ترکیب ناوگان متفاوتی به آن تخصیص خواهد یافت. با استفاده از عملگر ترکیب مجموعه جدیدی از افراز حلقه‌های بیان‌کننده قسمت بررسی نشده فضای جستجو تولیدشده و منجر به جستجوی بهتر خواهد شد، ولی استفاده از عملگر جهش، تلاش برای یافتن پاسخ بهینه (تخصیص ناوگان) برای یک افراز مشخص از حلقه‌هاست و موجب بهبود بهره‌برداری می‌شود.

4-3-2- ترکیب

برای درک عملگرهای ترکیب و جهش باید در نظر داشت که با دو عنصر حلقه و ناوگان روبه‌رو هستیم. استفاده از عملگرهای جای‌گشتی موجود در ترکیب امکان‌پذیر نیست، زیرا که طول الگوریتم‌ها متغیر است. حتی اگر طول آرایه الگوریتم‌های دو پاسخ برابر باشند، یعنی تعداد حلقه‌ها یکسان باشد، امکان وجود یال یکسان در میان حلقه‌های غیرمتناظر دو کروموزوم وجود دارد. در صورت ترکیب این حلقه‌ها تعدادی از یال‌ها هم‌زمان در چندین حلقه وجود خواهد داشت و این موضوع ناقض قید پوشش است.

ابتدا یک ماسک از اعداد 1 و 2 تولید می‌شود که عدد 1 به یک والد و عدد 2 به والد دیگر اشاره می‌کند. از والد متناظر با عدد اولین آرایه ماسک یک حلقه به تصادف انتخاب شده و در فرزند قرار داده می‌شود. سپس تمامی حلقه‌هایی که شامل هر یک از یال‌های تشکیل‌دهنده حلقه انتخاب شده باشند از والد دیگر حذف می‌شوند. عملیات تشریح شده ادامه می‌یابد تا این‌که هیچ پروازی در والدین باقی نماند.

4-3-3- جهش

عملگر جهش تنها به تغییر ترکیب ناوگان‌های تخصیص‌یافته می‌پردازد و تابع افراز حلقه‌ها نیست. از چهار عملگر جای‌گشتی جاسازی، تعویض، معکوس‌سازی و درهم برای عملیات جهش استفاده شده است. جایگزین کردن ناوگان‌های یک افراز با یک سری ناوگان جدید به عنوان روش پنجم برای جهش استفاده شده است. در ادامه مانند بخش تخصیص ناوگان در ایجاد جمعیت اولیه عمل کرده تا پاسخ نهایی کامل شود.

5- نتایج و تحلیل

نتایج حل مسأله یکپارچه طراحی برنامه پرواز و تخصیص ناوگان توسط الگوریتم ژنتیک توسعه‌یافته در این بخش ارائه شده است. مسأله در ابعاد مختلف مورد حل قرار گرفته و نیز تأثیر پارامترهای اصلی الگوریتم ژنتیک بررسی شده است.

مدل ورودی الگوریتم ژنتیک در بخش چهارم تشریح شد. تابعی برای ایجاد این مدل طراحی شده که ورودی‌های آن تعداد فرودگاه‌ها و ناوگان‌های هواپیمایی است. مشخصات اصلی مدل‌های مختلف ایجادشده در جدول 2 ارائه شده است. این مدل‌ها به عنوان ورودی الگوریتم ژنتیک تعریف شده و نتایج برای هر یک به‌دست آمده است.

در شکل‌های 4 و 5 بهترین و بدترین پاسخ به‌دست‌آمده توسط الگوریتم برای هر مدل ارائه شده است. شکل 4 مربوط به الگوریتم ژنتیک با دو جزیره و شکل 5 مربوط به الگوریتم با سه جزیره است. باید به این نکته توجه داشت که تمام پاسخ‌های ایجادشده در تمام تکرارهای حلقه اصلی الگوریتم امکان‌پذیر است، تمام قیود مسأله را رعایت کرده و هزینه کمی دارد؛ بنابراین بهبود هزینه در روند حل برای مدل‌های کوچک‌تر بسیار زیاد نخواهد بود و همان‌طور که قابل مشاهده است با افزایش اندازه مدل اختلاف پاسخ‌ها نیز زیاد می‌شود، زیرا که تنوع پاسخ‌های امکان‌پذیر نیز برای مدل‌های بزرگ‌تر افزایش یافته است.

در شکل 6 بهترین پاسخ‌ها برای حالت دو جزیره‌ای و سه جزیره‌ای مقایسه و اختلاف این حالت‌ها با افزایش اندازه مدل بیشتر شده است. از آن‌جایی که تنوع پاسخ در مدل‌های ابتدایی کم و فضای جستجو محدود است، اختلافی میان این دو حالت وجود ندارد. فضای جستجو با بزرگ‌ترشدن مدل گسترده‌تر شده و حالت سه جزیره‌ای قدرت بیشتری در یافتن پاسخ بهینه دارد.

جدول 2 مشخصات مدل‌های ایجاد شده

Table 2 Information of the created models

شماره مدل	تعداد فرودگاه‌ها	تعداد ناوگان‌ها	تعداد پروازها	تعداد هواپیماها
1	4	3	28	8
2	5	3	43	13
3	6	3	88	15
4	7	3	102	28
5	8	3	172	40

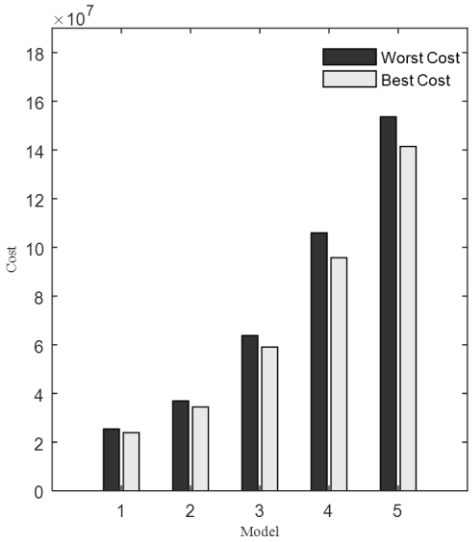

Fig. 4 Two island Genetic algorithm results for created models

شکل 4 نتایج حل الگوریتم ژنتیک دو جزیره‌ای برای مدل‌های ایجادشده

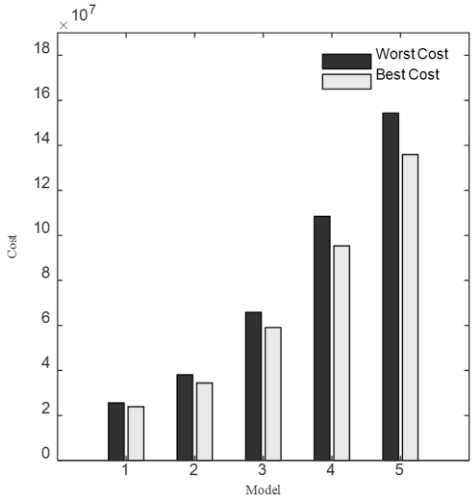

Fig. 5 Three island Genetic algorithm results for created models

شکل 5 نتایج حل الگوریتم ژنتیک سه جزیره‌ای برای مدل‌های ایجادشده

[Downloaded from mme.modares.ac.ir on 2024-04-20]
[DOR: 20.1001.1.10275940.1396.17.6.21.1]

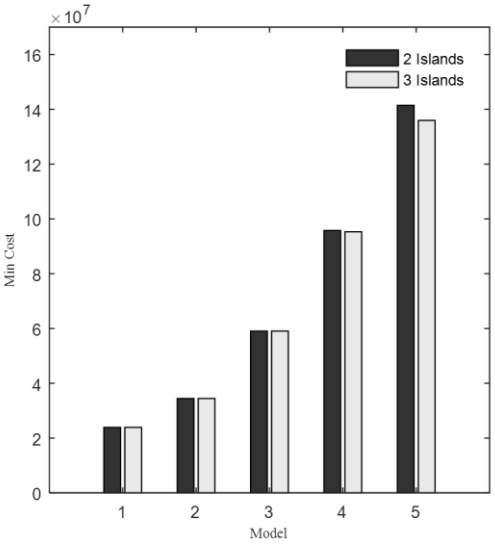

Fig. 6 Comparison of the results of the Genetic algorithm with 2 and 3 Islands

شکل 6 مقایسه پاسخ بهینه الگوریتم ژنتیک دو و سه جزیره‌ای

کوتاه بودن زمان حل علاوه‌بر یافتن پاسخ بهینه امکان‌پذیر جزء مشخصات یک روش حل مناسب است، مخصوصاً در مسائل با ابعاد بالا که زمان حل می‌تواند به چندین روز برسد. یک هواپیمایی در صورت بروز تغییرات برنامه‌ریزی نشده باید قادر به برنامه‌ریزی سریع باشد. شکل 7 زمان اجرای الگوریتم برای حل هر کدام از مدل‌ها را نشان می‌دهد. زمان حل با بزرگ‌تر شدن مدل افزایش یافته است.

6- نتیجه‌گیری

در این مقاله مسأله یکپارچه طراحی برنامه پرواز و تخصیص ناوگان به روش هوشمند و با استفاده از یک الگوریتم ژنتیک توسعه‌یافته با موفقیت حل شد. دو تابع ایجاد حلقه و تخصیص ناوگان برای امکان‌پذیری پاسخ‌های اولیه تصادفی و یک تابع دیگر جهت بهینه‌سازی جریان مسافرین و مقادیر بازهدایت در شبکه پرواز ابداع شد. عملگرهای ترکیب و جهش جدید برای مواجهه با پاسخ‌های چند لایه‌ای با طول متغیر طراحی و پیاده‌سازی شدند. روش‌های مهاجرت، بازتولید جمعیت و ضرایب تطبیقی جهت جلوگیری از همگرایی زودرس به‌کار گرفته شده‌اند.

حل مدل‌های مختلف نشان داد که الگوریتم با افزایش ابعاد مسأله بهبود بیشتری در پاسخ‌ها ایجاد می‌کند. با کمترشدن تعداد فرودگاه‌های موجود در مدل‌های ورودی، اختلاف میان بیشترین و کمترین هزینه به‌دست‌آمده در جمعیت اصلی الگوریتم ژنتیک نیز کمتر می‌شود. جمعیت اولیه در مدل‌های کوچک‌تر درصد بیشتری از تمام پاسخ‌های امکان‌پذیر را پوشش می‌دهد و در نتیجه امکان بهبود توسط علمگرهای الگوریتم کمتر خواهد بود. افزایش تعداد جزیره‌ها در به‌کارگیری روش مهاجرت نشان می‌دهد که برای مسائل با ابعاد بالا نتایج بهتری به‌دست می‌آید. البته بررسی زمان به‌دست آوردن پاسخ‌ها نشان می‌دهد که در حل مسائل با ابعاد بالا استفاده از تعداد بیشتر جزیره زمان را تا چندین برابر افزایش می‌دهد.

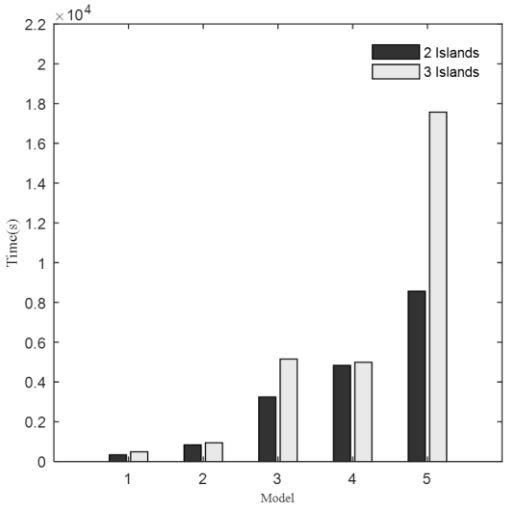

Fig. 7 Comparison of the results of the Genetic algorithm with 2 and 3 Islands

شکل 7 زمان به‌دست آوردن پاسخ بهینه الگوریتم ژنتیک دو و سه جزیره‌ای

7- مراجع

[1] T. Grosche, *Airline Scheduling Process*, pp. 10-58, Heidelberg: Springer, 2009.
[2] H. D. Sherali, K. H. Bae, M. Haouari, Integrated airline schedule design and fleet assignment: Polyhedral analysis and benders' decomposition approach, *Informs Journal on Computing*, Vol. 22, No. 4, pp. 500-513, 2010.
[3] N. K. Taneja, *Driving Airline Business Strategies Through Emerging Technology*, pp. 15-80, England: Ashgate Publishing Limited, 2002.
[4] M. Haouari, H. Sherali, F. Mansour, N. Aissaoui, Exact approaches for integrated aircraft fleeting and routing at TunisAir, *Computational Optimization and Applications*, Vol. 49, No. 2, pp. 213-239, 2011.
[5] N. Bélanger, G. Desaulniers, F. Soumis, J. Desrosiers, J. Lavigne, Weekly airline fleet assignment with homogeneity, *Transportation Research Part B: Methodological*, Vol. 40, No. 4, pp. 306-318, 2006.
[6] H. D. Sherali, E. K. Bish, X. Zhu, Airline fleet assignment concepts, models, and algorithms, *Operational Research*, Vol. 172, No. 1, pp. 1-30, 2006.
[7] C. Barnhart, T. S. Kniker, M. Lohatepanont, Itinerary-Based airline fleet assignment, *Transportation Science*, Vol. 36, No. 2, pp. 199-217, 2002.
[8] J. F. Cordeau, G. Stojković, F. Soumis, J. Desrosiers, Benders decomposition for simultaneous aircraft routing and crew scheduling, *Transportation Science*, Vol. 35, No. 4, pp. 375-388, 2001.
[9] H. Sherali, K. H. Bae, M. Haouari, Benders decomposition approach for an integrated airline schedule design and fleet assignment problem with flight retiming, schedule balance, and demand recapture, *Annals of Operations Research*, Vol. 210, No. 1, pp. 213-244, 2013.
[10] S. Sivanandam, S. Deepa, *Genetic Algorithm Optimization Problems*: *Introduction To Genetic Algorithms*, pp. 165-209, Heidelberg: Springer, 2008.
[11] R. Tavakkoli-Moghadam, S. Sedehzadeh, Multi objective imperialist competitive algorithm to solve a new multi-modal tree hub location problem, *Nature and Biologically Inspired Computing*, Porto: IEEE, pp. 202-207, 2014.
[12] M. Gen, R. Cheng, *Genetic Algorithms and Engineering Optimization*, pp. 1-40, New York: John Wiley & Sons, 2000.
[13] M. Lohatepanont, *Airline Schedule Design and fleet Assignment: Integrated Models and Algorithms*, Ph.D. Thesis, MIT, Cambridge, 2001.
[14] T. S. Kniker, *Itinerary-based Airline fleet Assignment Model*, Ph.D. Thesis, MIT, Cambridge, 1998.
[15] L. Cadarso, Á. Marín, Robust passenger oriented timetable and fleet assignment integration in airline planning, *Air Transport Management*, Vol. 26, pp. 44-49, 2013.

[Downloaded from mme.modares.ac.ir on 2024-04-20]
[DOR: 20.1001.1.10275940.1396.17.6.21.1]