



Operating Room Scheduling with Respect to Dynamic Facilities and Surgeon Specialty

Seyyed Jamaloddin Hosseini 

Associate Prof., Department of Industrial Engineering, Faculty of Industrial Engineering, University of Qom, Qom, Iran. E-mail: hosseini@qom.ac.ir

Jalal Rezaeenoor 

*Corresponding Author, Associate Prof., Department of Industrial Engineering, Faculty of Industrial Engineering, University of Qom, Qom, Iran. E-mail: rezaeenoor@qom.ac.ir

Amir Hosein Akbari 

Ph.D Candidate, Department of Industrial Engineering, University of Science and Technology, Tehran, Iran. E-mail: abkari_amir@ind.iust.ac.ir

Mohammad Reza Marjani 

Assistant Prof., Department of Industrial Engineering, Faculty of Industrial Engineering, University of Qom, Qom, Iran. E-mail: marjani@qut.ac.ir

Abstract

Objective: Hospitals are one of the most important elements of the health sector, which is the most important and costly part of them are operating rooms. Therefore, locating and allocating resources appropriately and appropriate scheduling for the operating room, can greatly solve the health problems of the community. In this article, an integrated model for locating-allocating and scheduling the operating rooms to build facilities at the appropriate places, allocating patients to facilities and operating rooms and scheduling operating rooms with the goals of reducing costs and reducing the overtime of the operating rooms, is presented. Also, surgeons have the maximum working time per day, and then their performance is faced with an error.

Methods: Given the NP-hard of the model and the inability of accurate methods for solving large-scale problems, a metaheuristic method based on the genetic algorithm has been developed for the problem and its efficiency has been studied in a wide range of samples examples.


Results: Computational results showed that the proposed algorithms can effectively help to generate reasonable responses.

Conclusion: The results of the problem indicate the importance of locating and integrating scheduling of facilities in reducing the waiting time of patients and their distance from facilities. The proposed algorithm is also capable of solving large-scale problems at an efficient response.

Keywords: Operating room scheduling, Operating room locating, Genetic algorithm, Locating-allocating

Citation: Hosseini, Seyyed Jamaloddin; Rezaeenoor, Jalal; Akbari, Amir Hosein and Marjani, Mohammad Reza (2021). Operating Room Scheduling with Respect to Dynamic Facilities and Surgeon Specialty. *Industrial Management Journal*, 13(2), 194-221. (in Persian)

Industrial Management Journal, 2021, Vol. 13, No.2, pp. 194-221

 <https://doi.org/10.22059/IMJ.2021.322661.1007840>

© Seyyed Jamaloddin Hosseini, Jalal Rezaeenoor, Amir Hosein Akbari, Mohammad Reza Marjani

Published by University of Tehran, Faculty of Management

Article Type: Research Paper

Received: February 24, 2021

Accepted: June 15, 2021



زمان‌بندی اتاق‌های عمل با در نظر گرفتن تسهیلات سیار و تخصص پزشکان

سید جمال‌الدین حسینی

استادیار، گروه مهندسی صنایع، دانشکده فنی و مهندسی، دانشگاه قم، قم، ایران. رایانامه: hosseini@qom.ac.ir

جلال رضایی نور

* نویسنده مسئول، دانشیار، گروه مهندسی صنایع، دانشکده فنی و مهندسی، دانشگاه قم، قم، ایران. رایانامه: rezaeenoor@qom.ac.ir

امیرحسین اکبری

دانشجوی دکتری، گروه مهندسی صنایع، دانشکده مهندسی صنایع، دانشگاه علم و صنعت، تهران، ایران. رایانامه: abkari_amir@ind.iust.ac.ir

محمدرضا مرجانی

استادیار، گروه مهندسی صنایع، دانشکده فنی و مهندسی، دانشگاه صنعتی قم، قم، ایران. رایانامه: marjani@qut.ac.ir

چکیده

هدف: یکی از عناصر مهم بخش سلامت، بیمارستان‌ها هستند و اتاق‌های عمل از مهم‌ترین و پرهزینه‌ترین بخش‌های آن به‌شمار می‌آیند. امروزه تسهیلات سیار، به کاهش بار کاری بیمارستان‌ها کمک شایانی می‌کند، بنابراین استقرار تسهیلات سیار در مکانی مناسب، همراه با تسهیلات ثابت و زمان‌بندی مناسب آنها قادر است تا حد زیادی مشکلات سلامت جامعه را حل کند. در این مقاله، یک مدل یکپارچه مکان‌یابی - تخصیص و زمان‌بندی اتاق عمل، برای استقرار تسهیلات سیار در مکان مناسب ارائه شده است تا با بهره‌بردن از آن، گامی در جهت کاهش بار کاری تسهیلات ثابت، تخصیص بیماراران به تسهیلات و اتاق‌های عمل و زمان‌بندی اتاق‌های عمل با اهداف کاهش هزینه‌ها و کاهش زمان اضافه‌کاری اتاق‌های عمل و پزشکان برداشته شود. شایان ذکر است که در پژوهش حاضر، این موضوع در نظر گرفته شده است که پزشکان دارای حداکثر زمان کاری در هر روز هستند و بعد از این ساعات، کارایی عملکرد آنان کاهش می‌یابد.

روش: با توجه به NP-hard بودن مدل و ناتوانی روش‌های دقیق برای حل مسائل در مقیاس بزرگ، یک روش فراابتکاری مبتنی بر الگوریتم ژنتیک برای مسئله توسعه داده شده و کارایی آن در مقیاس‌های گسترده و چندین نمونه بررسی شده است. مسئله در دو حالت تک‌هدفه و دوهدفه تحلیل و نتایج آن گزارش شده است.

یافته‌ها: نتایج محاسباتی حالت تک‌هدفه، روی مثال‌های عددی توسعه داده‌شده در چند مقاله نشان داد که الگوریتم ابتکاری این پژوهش، در تولید پاسخ‌های با دقت بالا کارایی مناسبی دارد. همچنین، در حالت دوهدفه نقاط پارتو مناسبی توسط الگوریتم یافت شده است.

نتیجه‌گیری: نتایج مسئله، گویای اهمیت مکان‌یابی و استقرار تسهیلات سیار و زمان‌بندی یکپارچه آنها، کاهش مدت زمان انتظار بیماراران و فاصله آنها با تسهیلات است. الگوریتم پیشنهادی قادر است مسائلی با ابعاد بزرگ را در زمانی کم و جوابی کارا حل کند.

کلیدواژه‌ها: الگوریتم ژنتیک، زمان‌بندی اتاق عمل، مکان‌یابی اتاق عمل، مکان‌یابی و تخصیص

استناد: حسینی، سید جمال‌الدین؛ رضایی نور، جلال؛ اکبری، امیرحسین و مرجانی، محمدرضا (۱۴۰۰). زمان‌بندی اتاق‌های عمل با در نظر گرفتن تسهیلات سیار و تخصص پزشکان. مدیریت صنعتی، ۱۳(۲)، ۱۹۴-۲۲۱.

مقدمه

مراکز درمانی از مهم‌ترین تسهیلاتی هستند که در سلامت فرد و جامعه تأثیر مستقیمی دارند. دسترسی سریع، به‌موقع و ارزان به این مراکز از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است (آیین پرست^۱، ۱۹۹۸). مکان‌یابی مراکز خدمات درمانی و بیمارستانی، یکی از مهم‌ترین چالش‌های مدیران حوزه سلامت است. عدم توجه به این مسئله علاوه بر بالا بردن هزینه‌های سیستم بهداشت و درمان، کارایی سیستم در ارائه خدمات را تحت تأثیر قرار داده و صدمات جبران‌ناپذیری را به سلامت افراد وارد می‌کند (جقتایی‌نوایی، رجب‌زاده و بزرگی امیری، ۱۳۹۵). چنانچه تسهیلی در مکانی نامناسب از نقاط تقاضا احداث شود، متقاضیان ممکن است قادر به استفاده از این تسهیلات نبوده و یا به علت دسترسی نامناسب در صورت اجبار از آن استفاده کنند که باعث ایجاد نارضایتی می‌شود. از نکات مهم در مکان‌یابی بیمارستان‌ها، توازن بین خدمات ارائه‌شده و نحوه دسترسی به آنها است که نتیجه آن رضایت بیمار و سلامت مناسب فردی و اجتماعی است (دسکین و دین^۲، ۲۰۰۵). این امر بین معیارهایی مانند دسترسی‌پذیری، کارایی یا کیفیت خدمات ارائه‌شده تعادل ایجاد می‌کند (رحمان و اسمیت^۳، ۱۹۹۹). امروزه با توجه به افزایش بار کاری تسهیلات موجود به علت پیدایش همه‌گیری کرونا، استقرار تسهیلات سیار در مکان مناسب می‌تواند کمک شایانی به کاهش بار کاری تسهیلات موجود کرده و قسمتی از وظیفه درمان بیمار را بر عهده بگیرند. تسهیلات سیار به علت هزینه نسبتاً پایین جابه‌جایی، قادر هستند در زمان مناسب به مکانی مناسب حمل شوند تا از آنها برای کاهش بار کاری و کاهش مدت‌زمان انتظار بیمارستان استفاده شود. استفاده از تسهیلات سیار تاکنون در مسائلی مانند زنجیره تأمین خون مورد استفاده قرار گرفته است (حیدری و پسندیده^۴، ۲۰۱۸؛ سامانی، ترابی و حسینی مطلق^۵، ۲۰۱۷). تسهیلات سیار می‌توانند با توجه به هزینه نسبتاً پایین جابه‌جایی در مکان‌های مختلفی مورد استفاده قرار گیرند و در نتیجه می‌توانند فواید زیادی را برای کاهش بار کاری تسهیلات ثابت داشته باشند. بیمارستان‌ها یکی از مهم‌ترین عناصر بخش سلامت بوده که دارای دپارتمان‌های مختلفی شامل اتاق عمل، اتاق ریکاوری و... هستند. نزدیک به ۶۰ درصد از بیمارانی که به بیمارستان مراجعه می‌کنند برای عمل جراحی (اسن و هانک و هوریس و اورسبرگ^۶، ۲۰۱۰) و ۴۰ درصد از هزینه‌های بیمارستانی مربوط به عمل‌های جراحی است (گریب و گویدا^۷، ۲۰۱۱). لذا اتاق‌های عمل مهم‌ترین گلوگاه هزینه و درآمد هر بیمارستانی محسوب می‌شوند (آرینقییری و همکاران^۸، ۲۰۱۵). به دلیل اینکه اتاق‌های عمل می‌توانند منجر به اتلاف زمان و هزینه زیادی شوند، مدیران بیمارستان علاقه‌مند به افزایش کارایی و استفاده از روش‌های مؤثر اداره اتاق عمل هستند تا باعث بهبود کیفیت و اثربخشی بیمارستان شوند (یه، چو و وانگ^۹، ۲۰۱۱)؛ بنابراین برنامه‌ریزی و زمان‌بندی اتاق‌های عمل از اهمیت بالایی برخوردار هستند که در بررسی آنها عوامل مختلفی مانند تعداد اتاق‌ها، بارکاری اتاق‌ها و جراحان، تعداد تخت‌های ریکاوری، نوع بیماری بیمار و ... دخیل

1. Aeinparast
2. Daskin and Dean
3. Rahman and Smith
4. Heidari-Fathian and Pasandideh
5. Samani, Torabi and Hosseini-Motlagh
6. van Essen, Theresia, Hans, Hurink, and Oversberg
7. Guerriero and Guido
8. Aringhieri, Landa, Soriano, Tànfani, and Testi
9. Ya, Chu and Wang

هستند (برچت^۱، ۲۰۱۰). در مطالعاتی که در حوزه زمان‌بندی اتاق‌های عمل صورت گرفته است بیشترین تمرکز بر کاهش هزینه‌های بیمارستان و یا بیمار، کاهش زمان‌های انتظار و زمان‌های ازدست‌رفته و افزایش بهره‌وری اتاق عمل بوده است (بای^۲، ۲۰۱۷، والی‌سیر و غلامی و رمضانیان^۳، ۲۰۱۷). علاوه بر موارد ذکر شده، از عوامل مهم تأثیرگذار بر مسئله می‌توان به وجود خطاهای پزشکی که باعث کاهش کارایی پزشکان و افزایش هزینه‌ها در اتاق‌های عمل می‌شود اشاره کرد. بر اساس مطالعات انجام شده در موسسه پزشکی ایالات متحده آمریکا، حدود ۷۵ درصد خطاهای پزشکی مربوط به مراقبت‌های جراحی است (نگپال و همکاران^۴، ۲۰۱۰). وجود خطا در فرایندهای جراحی بر عدم رضایت بیمار، کاهش درآمد و افزایش هزینه‌های بیمارستان تأثیر مستقیم دارد (ترانتر، گرگویر، فالام و لفرتی^۵، ۲۰۰۹). خطای جراحی بر اثر عوامل مختلفی مانند کافی نبودن تخصص جراح، افزایش بارکاری، در دسترس نبودن جراح، فرسوده بودن ابزار و تجهیزات، کمبود و نامناسب بودن تجهیزات و ... رخ می‌دهد (کاووسی و همکاران^۶، ۱۳۹۶). این خطا منجر به افزایش زمان عمل و همچنین افزایش هزینه‌های عمل می‌شود.

در این مطالعه یک مسئله یکپارچه مکان‌یابی - تخصیص و زمان‌بندی جهت استقرار تسهیلات درمانی سیار در مکان مناسب همراه با تعدادی تسهیل ثابت و موجود و تخصیص بیماران و منابع به مراکز درمانی و زمان‌بندی اتاق‌های عمل، معرفی شده و یک مدل برنامه‌ریزی عدد صحیح مختلط خطی برای مسئله توسعه داده شده است. اهداف مسئله شامل کمینه‌سازی هزینه‌ها شامل استقرار مراکز درمانی سیار و هزینه فاصله بیماران از تسهیلات، کمینه‌سازی اضافه‌کاری اتاق عمل و اضافه‌کاری پزشکان است. با توجه به NP-Hard بودن مدل یک رویکرد ابتکاری بر اساس الگوریتم ژنتیک برای مسئله توضیح داده شده و کارایی آن در طیف گسترده‌ای از مسائل نمونه‌ای مورد بررسی قرار گرفته است. مسئله در دو حالت تک‌هدفه و دوهدفه بررسی شده است و نتایج آن گزارش شده است. در ادامه و در بخش ۲ تحقیقات پیشین مسئله مورد بررسی قرار می‌گیرد. در بخش ۳ مدل ریاضی معرفی شده و در ۴ بخش روش حل مسئله توضیح داده می‌شود. در بخش ۵ نیز نتایج محاسباتی حاصل از حل مسئله توضیح داده شده است. در بخش ۶ نیز نتیجه‌گیری و تحقیقات پیشین بیان شده است.

پیشینه پژوهش

از آنجایی که حوزه سلامت نقش اساسی در تأمین سلامت فرد و جامعه دارد، دسترسی سریع، به‌موقع و ارزان به مراکز سلامت از اهمیت بسیاری برخوردار است. یکی از مهم‌ترین تصمیمات مدیران حوزه سلامت، مکان‌یابی مراکز درمانی است، مکان‌یابی صحیح و بهینه، باعث افزایش کارایی در ارائه خدمات، سهولت دسترسی و کاهش هزینه‌های مرتبط با تسهیلات درمانی می‌شود (مستر، ماریا، الیورا، باربوسا - پوا^۷، ۲۰۱۲).

1. Brecht
2. Bai Miao
3. Vali Siar, Gholami, and Ramezani.
4. Nagpal, Vats, Ahmed, Smith, Sevdalis, Jonannsson, Vincent, and Moorthy
5. Tranter, Gregoire, Fullam, and Lafferty
6. Kavosi, Setoodehzadeh, Fardid, Gholami, Khojastefar, Hatam, and Fardid
7. Mestre, Maria, Oliveira and Barbosa-Póvoa

• مکان‌یابی تسهیلات

مکان و تعداد بهینه تسهیلات با اهدافی همچون کاهش هزینه، پوشش حداکثری با کمترین مسافت و کمترین زمان دسترسی تعیین می‌شود (هاگسون^۱، ۱۹۹۸). میتروپولوس و پاناگوتیس و میتروپولوس و جیانیکوس^۲ (۲۰۱۳) به بررسی ترکیب مدل مکان‌یابی - تخصیص و تحلیل پوششی داده‌ها جهت بهبود خدمات به منظور حداکثر کردن میزان دسترسی و کارایی مراکز درمانی پرداختند. افشاری و پنگ^۳ (۲۰۱۴) به بررسی روش‌های مکان‌یابی مراکز درمانی با در نظر گرفتن کارایی و هزینه پرداخته‌اند. از دید آنها هزینه و کارایی دو معیار مهم خدمات درمانی برای حداقل‌سازی مجموع مسافت پیموده شده بین محل زندگی بیمار و تسهیل درمانی است. مستره و و اولیویرا و باربوسا^۴ (۲۰۱۵) جهت برنامه‌ریزی استراتژیک شبکه‌های بیمارستانی، به ارائه مدل مکان‌یابی - تخصیص در شرایط عدم قطعیت پرداختند. مطالعه آنها شامل دو مدل ریاضی با اهداف حداقل‌سازی زمان مورد انتظار سفر تا دسترسی به خدمات (بهبود دسترسی) و هزینه‌های عملیاتی ارائه خدمات است آنها از روش محدودیت اپسیلون جهت حل مدل پیشنهادی خود استفاده کردند. ژانگ و همکاران^۵ (۲۰۱۶) یک روش بهینه‌سازی چندهدفه جهت مکان‌یابی - تخصیص یک مرکز درمانی در هنگ‌کنگ با اهداف بهبود دسترسی، کاهش جمعیتی خارج از رنج پوشش و کاهش هزینه ساخت تسهیل جدید مکان‌یابی شده، را ارائه کردند. یکی از راه‌های مقابله مناسب با شرایط اضطراری، در نظر گرفتن تسهیلات سیار است. تسهیلات سیار می‌تواند در قالب سطوح تصمیم‌گیری سریع در نظر گرفته شود. یکی از چهار سطح مدیریت بحران، پاسخ سریع به وقایع و اتفاقات ضروری است. پاسخ سریع شامل سطوح استراتژیک، تاکتیکی و عملیاتی است. (بلنجر و روزی و سونیارو^۶، ۲۰۱۹؛ روتر و برگ و ویله^۷، ۲۰۱۷). پاسخ سریع در ارگان‌های مختلفی مانند بیمارستان‌ها، آتش‌نشانی‌ها و پلیس و امنیت کاربرد دارد (سیمپسون و هونکوک^۸، ۲۰۰۹)؛ شمال تصمیمات مختلف مکان‌یابی، مکان‌یابی مجدد، مسیریابی و استنتاج آنهاست (آرینجیری و برونو و خداپرست^۹، ۲۰۱۷)؛ شامل تسهیلات سیار و ثابت و انواع مختلف تصمیمات استراتژیکی و عملیاتی است (باچار، کتی و یونلورت^{۱۰}، ۲۰۱۲). از مقالات مختلفی که پاسخ سریع را در تحقیقات خود در نظر گرفته‌اند می‌توان به (گرین و کولسار^{۱۱}، ۲۰۰۷؛ آلتی و گرین^{۱۲}، ۲۰۰۶؛ گالیندو و باتا^{۱۳}، ۲۰۱۳ و میناس و سیمپسون و تاچوا^{۱۴}، ۲۰۲۰) اشاره کرد. با توجه به شرایط کنونی تسهیلات درمانی و ازدحام آنها در شرایط پیک کرونایی، در نظر گرفتن تسهیلات سیار نیز می‌تواند کمک شایانی به کاهش بار کاری آنها بکند.

1. Hodgson
2. Mitropoulos, Panagiotis, Mitropoulos and Giannikos.
3. Afshari, Peng
4. Zhang, Wenting, Cao, Liu and Huang
5. Bélanger, Ruiz and Soriano
6. Reuter-Oppermann, van den Berg and Vile
7. Simpson & Hancock
8. Aringhieri, Bruni and Khodaparasti
9. Başar, Çatay and Ünlüyurt
10. Green and Kolesar
11. Altay and Green
12. Galindo and Batta
13. Minas, Simpson and Tacheva

• زمان‌بندی اتاق‌های عمل

اتاق‌های عمل از پرهزینه‌ترین و ارزشمندترین بخش‌های بیمارستان‌ها هستند که به عنوان گلوگاه محسوب می‌شوند (لاندا و همکاران^۱، ۲۰۱۶). از عمده مشکلات اتاق‌های عمل می‌توان زمان انتظار طولانی، تأخیر و لغو عمل جراحی، ایجاد اضافه‌کاری و استفاده بیش از حد از منابع را نام برد که برای رفع این مشکلات استخدام کارکنان بیشتر، تهیه تجهیزات و تخت‌های بیشتر راه‌حلی موقوتانه خواهد بود (مسکنز و دویویر و هانست^۲، ۲۰۱۳). منظور از زمان‌بندی اتاق عمل تعیین روز جراحی، توالی عمل‌های جراحی و زمان هر یک از آنها در روز و تخصیص منابع مورد نیاز با توجه به محدودیت‌های مختلفی از جمله پزشکان و پرستاران؛ اتاق‌های عمل و تجهیزات، منابع بعد از جراحی مانند تخت‌های ریکاوری و ... است (شیانگ، یین، لیم^۳، ۲۰۱۵). گیدو و کانفورتی^۴ (۲۰۱۷) یک مدل برنامه‌ریزی خطی عدد صحیح چندهدفه را با اهداف برنامه‌ریزی کارآمد و مدیریت مجموعه اتاق عمل معرفی کردند. در مدل آنها تصمیمات زمان اتاق عمل اختصاص داده شده به هر تخصص جراحی، زمان اتاق عمل اختصاص داده شده به هر تیم جراحی، برنامه پذیرش جراحی و زمان‌بندی جراحی به صورت یکپارچه بررسی شده است. آنها از یک الگوریتم ژنتیک ترکیبی برای حل مسئله استفاده کردند. جبالی و آلوان و لادت^۵ (۲۰۰۶) یک رویکرد دومرحله‌ای برای زمان‌بندی اتاق‌های عمل با در نظر گرفتن محدودیت کل ساعات جراحی پزشک در روز و تخت‌های مراقبت‌های ویژه، ظرفیت اتاق عمل ارائه کردند. در مرحله اول، عمل‌های جراحی به اتاق‌های عمل تخصیص داده شده و در مرحله دوم به ترتیب‌دهی عمل‌های جراحی در هر اتاق پرداخته می‌شود. هدف مدنظر در مرحله تخصیص کاهش هزینه‌های مربوط به اضافه‌کاری و کم‌کاری اتاق عمل است. رولاند و مارتینلی و ریانه و پوچت^۶ (۲۰۱۰) با در نظر گرفتن دسترسی به نیروی انسانی مورد نیاز و ترجیحات آنها با هدف کمینه کردن هزینه‌های اتاق عمل از جمله هزینه اضافه‌کاری و باز بودن آن، یک مدل برنامه‌ریزی ریاضی ارائه کرده و با استفاده از الگوریتم ژنتیک به حل آن پرداختند. مارکئوس و کپتیو و پاتو^۷ (۲۰۱۲) یک مدل برنامه‌ریزی عدد صحیح برای مسئله زمان‌بندی بیماران انتخابی با در نظر گرفتن محدودیت دسترسی به جراحان جهت حداکثر کردن استفاده از اتاق عمل ارائه نمودند و برای حل مدل یک الگوریتم ابتکاری استفاده کردند. لاندا و همکاران (۲۰۱۶) یک الگوریتم ترکیبی دوفازی که از ترکیب تکنیک‌های جست‌وجوی محلی و شبیه‌سازی مونت کارلو حاصل شده است را برای حل مسئله زمان‌بندی اتاق عمل پیشنهاد کردند. سادولی و همکاران^۸ (۲۰۱۵) یک مدل برنامه‌ریزی خطی عدد صحیح دومرحله‌ای را با توجه به اتاق عمل و تخت‌های بخش ریکاوری، برای بیماران انتخابی در بخش جراحی ارتوپدی پیشنهاد کردند که در مرحله اول یک مسئله کوله‌پشتی برای تخصیص جراحی به روزهای خاص پیشنهاد شده و در مرحله دوم از شبیه‌سازی وقایع گسسته برای ارزیابی عملکرد مدل پیشنهادی استفاده شده بود. در مسئله آنها اگر تختی

1. Landa, Aringhieri, Soriano, Tànfani and Testi

2. Meskens, Duvivier and Hanset

3. Xiang, Yin, and Lim

4. Guido and Conforti

5. Jebali, Alouane, and Ladet

6. Roland, Martinelly, Riane and Pochet.

7. Marques, Captivo and Vaz Pato

8. Saadouli, Jerbi, Dammak, Lotfi Masmoudi, and Bouaziz.

در اتاق ریکاوری خالی نباشد از انجام عمل خودداری می‌شود. مولینا پارتنه و فرناندز و فرامینان^۱ (۲۰۱۵) یک مدل عدد صحیح مختلط پیشنهاد کردند که در آن زمان عمل بیماران به تخصص و جراح وابسته است. هدف آنها حداکثر کردن تعداد بیماران زمان بندی شده و کاهش زمان های ازدست رفته است. در مسئله آنها زمان جراحی و زمان مراجعه بیماران اورژانسی به بیمارستان ها تصادفی بود. آنها از روش شبیه سازی مونت کارلو برای حل مدل ارائه شده استفاده کردند. مانل، باسم و مالک^۲ (۲۰۱۸) مسئله زمان بندی اتاق عمل را با در نظر گرفتن محدودیت منابع (منابع مورد نیاز جراحی و تخصص پزشکان) در هر سه مرحله قبل از عمل، حین عمل و بعد از مطالعه کردند. هدف آنها کمینه کردن بیشینه زمان اتمام جراحی در آخرین مرحله و و همچنین، کمینه کردن کل زمان بیکاری اتاق های عمل بود. آنها از دو الگوریتم ابتکاری شامل الگوریتم جست و جوی محلی مبتنی بر تکرار و الگوریتم ژنتیک را برای حل مسئله استفاده کردند.

• خطای پزشکی

وقوع خطای انسانی و کاهش کارایی کارکنان، در اثر فعالیت بیش از حد و ترافیک کاری حین انجام وظایف شغلی در بسیاری از مشاغل محتمل بوده و مشاغل پزشکی نیز از آن مستثنا نیستند (دباغ و همکاران^۳، ۲۰۰۶). اشتباهات پزشکی بر هزینه های بیمارستان، کاهش بهره وری کارکنان و کاهش سلامت جامعه تأثیر گذارند (مؤسسه پزشکی آمریکا (IOM)). بروز خطا در پزشکی همیشه بیمار را متضرر نمی کند، بلکه کل سیستم درگیر شده که در نتیجه آن هزینه های از پیش برنامه ریزی نشده ای به وجود می آید. فیلیپس، بری و کوهن^۴ (۲۰۰۴) ذکر می کنند که عمده خطاهای بیمارستانی به علت فرایندهای ذهنی نابجا مانند فراموشی، غفلت، بی توجهی، بی انگیزگی، بی دقتی و بی پروایی اتفاق می افتد. راجرز و همکاران^۵ (۲۰۰۴) بیان می کنند که خطر وقوع خطا زمانی افزایش می یابد که شیفت کاری پرستاران به بیش از دوازده ساعت در روز یا بیش از چهل ساعت در هفته برسد. بیشترین عامل تأثیر گذار در بروز خطا از دید کارکنان مربوط به کم بودن تعداد کارکنان نسبت به تعداد اعمال جراحی و در نظر گرفتن شیفت های سنگین و اضافه کاری های زیاد است. به طوری که به عقیده کارکنان، تعداد کم افراد و تعداد زیاد اعمال جراحی در هر شیفت، مسئولیت و درخواست از افراد را زیاد می کند و همواره احتمال بروز خطا به دلیل غفلت، فراموشی و یا انجام نادرست یکی از این وظایف به دلیل عجله و نبود وقت وجود دارد (کرامر، هنینگ، فولابن، هابرمین^۶، ۲۰۱۳). مارتینلی و مسکنس^۷ (۲۰۱۷) مسئله زمان بندی اتاق های عمل با در نظر گرفتن مهارت های مورد نیاز پزشکان و پرستاران و محدودیت زمانی برای آنها در روز و هفته را بررسی کردند. هدف آنها بیشینه کردن تعامل بین تیم های کاری (متعادل کردن بار کاری) و کاهش زمان بیکاری تیم ها بود. والی سیر، غلامی و رضانیان^۸ (۲۰۱۹) یک مدل برنامه ریزی عدد صحیح برای مسئله زمان بندی

1. Molina-Pariente, Fernandez-Viagas, and Framinan
2. Manel Belkhamza, Bassem Jarbou, Malek Masmoudi
3. Dabagh, Akbari and Fathi
4. Phillips, Berry and Kohn's
5. Rogers, Hwang, Scott, Aiken, and Dinges.
6. Cramer, Henning, Pohlbeln, and Habermann
7. Di Martinelly and Meskens
8. Vali-Siar, Gholami and Ramezani

اتاق‌های عمل چنددوره‌ای و چند منبعی (نیروی انسانی، تجهیزات و تخت جراحی) را همراه با عدم قطعیت، با اهداف کمینه کردن تأخیر در جراحی، اضافه‌کاری و بیکاری را پیشنهاد کردند.

یکی از مواردی که می‌تواند بار کاری بیمارستان‌ها را در شرایط همه‌گیری کرونا و ازدحام بیماران را کاهش داده و باعث استفاده مناسب از تسهیلات درمانی شود، اضافه کردن تسهیلات سیار با هزینه نسبتاً پایین به تسهیلات موجود است. جهت این امر مکان‌یابی تسهیلات سیار در کنار تسهیلات ثابت و سپس تخصیص به‌صورت یکپارچه همراه با اهداف کاهش هزینه و زمان اضافه‌کاری اتاق‌های عمل و پزشکان می‌تواند از بار کاری و در نتیجه نارضایتی بیماران بکاهد که تاکنون در ادبیات تحقیق مغفول مانده است. از عوامل مهم این قضیه می‌تواند پیچیدگی تصمیم‌گیری در این حوزه حتی در مواقع تک‌بعدی باشد. در مقاله حاضر مسئله مورد بررسی در دو بعد استراتژیک و عملیاتی به‌صورت یکپارچه بررسی می‌شود. بعد استراتژیک مربوط تصمیمات مکان‌یابی بیمارستان‌های سیار با هدف کاهش هزینه‌های استقرار و فاصله و بعد عملیاتی مربوط به زمان‌بندی اتاق عمل و بیماران است. این تصمیم‌گیری می‌تواند منجر به نتایجی کارا و عملیاتی در استفاده مناسب از تسهیلات و افزایش کارایی شود.

روشناسی پژوهش

مسئله مورد بررسی در این پژوهش، یک مسئله یکپارچه مکان‌یابی تسهیلات سیار، تخصیص و زمان‌بندی اتاق عمل است. تعدادی تسهیل از پیش تعیین شده و ثابت در مسئله وجود دارند که بیماران برای رفع نیازهای خود به آنها مراجعه می‌کنند. با توجه به کمبود ظرفیت این تسهیلات، تعدادی تسهیل سیار می‌توانند در نقاط کاندید، مکان‌یابی شده و به کاهش بار کاری تسهیلات موجود کمک کنند. از آنجایی که تسهیلات در مکان‌های مختلف مستقر می‌شوند و دارای اتاق عمل‌های متفاوتی هستند، هزینه استقرار متفاوتی خواهند داشت. فاصله از بیمارستان یک عامل مؤثر در انتخاب و مراجعه بیمار به بیمارستان است و با توجه به متفاوت بودن فاصله بیماران از تسهیلات هرچه بیمار از تسهیل دورتر باشد هزینه بیشتری متحمل می‌شود، بنابراین یکی از اهداف این پژوهش کاهش هزینه‌های مرتبط با فاصله است. به دلیل تفاوت منابع جراحی در هر تسهیل ثابت و سیار (اتاق عمل و جراح)، هزینه جراحی و زمان‌های جراحی در هر تسهیلی متفاوت خواهد بود. همچنین فرض می‌شود که هر جراح در هر روز مدت زمان مشخصی می‌تواند در دسترس باشد و چنانچه بیش از مدت‌زمان برنامه‌ریزی شده در روز به جراحی بپردازد کارایی او کاهش و در نتیجه زمان جراحی افزایش خواهد یافت. با رخداد خطا در فرایند جراحی علاوه بر مواجهه بیمارستان با هزینه‌های از پیش تعیین نشده، مدت‌زمان جراحی بیمار افزایش می‌یابد. بنابراین در این پژوهش به دنبال کاهش هزینه‌های ناشی از خطا نیز هستیم.

مفروضات

۱. تسهیلات سیار دارای اتاق عمل و پزشکان محدود بوده و در مقایسه با تسهیلات ثابت قابلیت جابه‌جایی دارند.
۲. در هر تسهیل ثابت و سیار، تخصص‌های جراحی متفاوتی وجود دارد و تعدادی جراح متخصص در این تخصص‌ها وجود دارند.
۳. تعداد اتاق‌های عمل و تعداد جراح‌ها در هر تسهیل متفاوت است.

۴. هر بیمار با توجه به نوع بیماری و تخصص لازم برای جراحی در اتاق عمل مخصوص به خود جراحی می‌شود.
۵. مدت‌زمان جراحی و مدت‌زمان بهبودی (ریکاوری) بعد از جراحی از قبل مشخص و قطعی می‌باشند.
۶. جراحی بیماران انتخابی مورد بررسی قرار گرفته است.
۷. هر جراح در روزها و بازه‌های زمانی مشخصی می‌تواند جراحی انجام دهد. (جراحان در تمام افق برنامه‌ریزی در دسترس نیستند). همچنین جراحان دارای حداکثر ساعات کاری در روز می‌باشند و بعد از آن عملکرد آنان با کاهش کارایی همراه است.
۸. هنگامی که یک جراحی در یک اتاق عمل انجام می‌گیرد، تا انتها در آن انجام می‌شود.

جدول ۱. اندیس‌ها، پارامترها و متغیرها

نماد	توضیحات
اندیس‌ها	
i	شاخص بیماران نیازمند به عمل جراحی
k	شاخص مکان‌های بالقوه برای استقرار تسهیلات
k_s	تسهیلات ثابت و موجود.
k_u	تسهیلات سیار که باید در مورد استقرار آنها تصمیم‌گیری کرد.
$j \in p(k)$	شاخص اتاق عمل در هر تسهیل
$S \in s(k)$	شاخص جراح در هر تسهیل
e	شاخص مرحله جراحی (اتاق عمل $e=1$)، (ریکاوری $e=2$)
t	شاخص دوره زمانی
d	شاخص روز
پارامترها	
du_{ijsk}	مدت‌زمان جراحی بیمار i در اتاق j توسط جراح s در تسهیل k
du_{ik}	مدت زمان ریکاوری بیمار i در تسهیل k
OT	حداکثر زمان ساعات اضافه‌کاری اتاق‌های عمل در هر روز
RT	حداکثر زمان باز بودن اتاق عمل بدون در نظر گرفتن ساعات اضافه‌کاری در هر روز
A_{sktd}	اگر جراح s در دوره t و روز d در تسهیل k در دسترس باشد 1 در غیر این صورت صفر است
$Assign_{ijk}$	اگر انجام خدمت به بیمار i در اتاق j در تسهیل k امکانپذیر باشد مقدار 1 در غیر این صورت صفر است
h_{skd}	زمان نرمال فعالیت جراح s در روز d در تسهیل k (فعالیت با بیش از این زمان، با هزینه بیشتری همراه است)
B_{ijks}	جراحی بیمار i در اتاق j توسط جراح s تسهیل k بتواند انجام شود 1 در غیر این صورت 0
$dist_{ik}$	فاصله بیمار i از تسهیل k
dc_{ik}	هزینه فاصله بیمار i از تسهیل k
P	حداکثر تعداد تسهیلات
c_k	هزینه استقرار تسهیل k
ξ_s	میزان زمان اضافه شده به زمان جراحی بیمار هنگامی که جراح s دچار خطا می‌شود
C_{skd}	هزینه رخداد خطا توسط جراح s تسهیل k در روز t

ادامه جدول ۱

متغیرها	توضیحات	نماد
x_{ijkstd}	اگر جراحی بیمار i در اتاق j تسهیل k توسط جراح s در دوره t و روز d شروع شود ۱ در غیر اینصورت ۰	
y_{ijkd}	اگر جراحی بیمار i در اتاق j تسهیل k در روز d انجام شود ۱ در غیر اینصورت ۰	
Z_{isk}	اگر جراحی بیمار i توسط جراح s در تسهیل k انجام شود ۱ در غیر اینصورت ۰	
st_{iejkd}	زمان شروع درمان (جراحی/ریکاوری) بیمار i در مرحله e	
et_{iejkd}	زمان پایان درمان بیمار i در مرحله e	
t_{skd}	مدت زمان فعالیت جراح s تسهیل k در روز d	
ots_{skd}	مدت زمان اضافه‌کاری بیش از نرمال جراح s تسهیل k در روز d	
ot_{jkd}	اضافه‌کاری اتاق عمل j تسهیل k در روز d	
w_k	اگر تسهیلی (سیار) در مکان k مستقر شود ۱ در غیر این صورت ۰	
g_{ijkd}	متغیر مثبت جهت محاسبه احتمال خطا برای جراحی بیمار i در اتاق j تسهیل k در روز d	

مدل ریاضی

$$\min \sum_{k \in k_u} c_k w_k + \sum_i \sum_k \sum_j \sum_d dist_{ik} dc_{ik} y_{ijkd} \quad \text{هدف A}$$

$$\min \sum_{j \in p(k)} \sum_k \sum_d ot_{jkd} + \sum_s \sum_k \sum_d ots_{skd} \quad \text{هدف B}$$

$s.t.$

$$\sum_{k \in k_u} w_k \leq p \quad \text{رابطه (۱-۱)}$$

$$w_k = 1 \quad \forall k \in k_s \quad \text{رابطه (۲-۱)}$$

$$y_{ijkd} \leq w_k \quad \forall i, j \leq p(k), k, d \quad \text{رابطه (۲)}$$

$$\sum_d y_{ijkd} \leq 1 \quad \forall i, j \leq p(k), k \quad \text{رابطه (۳)}$$

$$\sum_{j \in p(k)} \sum_{s \in s(k)} \sum_k \sum_t \sum_d x_{ijkstd} = 1 \quad \forall i \quad \text{رابطه (۴)}$$

$$\sum_i \sum_{s \in s(k)} x_{ijkstd} \leq 1 \quad \forall j \leq p(k), k, t, d \quad \text{رابطه (۵)}$$

- رابطه ۶) $\sum_i \sum_{j \in p(k)} x_{ijkstd} \leq 1 \quad \forall s \leq s(k), t, d, k$
- رابطه ۷) $\sum_{j \in p(k)} \sum_d \sum_k y_{ijkd} \leq 1 \quad \forall i$
- رابطه ۸) $\sum_{s \in s(k)} z_{isk} \leq 1 \quad \forall i, k$
- رابطه ۹) $\sum_{s \in s(k)} \sum_t \sum_d x_{ijkstd} \leq Assign_{ijk} \quad \forall i, j \leq p(k), k$
- رابطه ۱۰) $\sum_i \sum_{j \in p(k)} \sum_{s \in s(k)} \sum_{t > RT + OT - du_{ijsk} + 1} x_{ijkstd} = 0 \quad \forall d, k$
- رابطه ۱۱) $\sum_{s \in s(k)} \sum_t x_{ijkstd} \leq y_{ijkd} \quad \forall i, j \leq p(k), k, d$
- رابطه ۱۲) $\sum_{j \in p(k)} \sum_k \sum_d y_{ijkd} \leq \sum_{s \leq s(k)} z_{isk} \quad \forall i, k$
- رابطه ۱۳) $x_{ijkstd} \leq A_{sktd} * z_{isk} \quad \forall i, s \leq s(k), k, t, d$
- رابطه ۱۴) $\sum_t \sum_d x_{ijkstd} \leq B_{ijks} \quad \forall i, k$
 $\forall j \leq p(k), s \leq s(k)$
- رابطه ۱۵) $st_{ijkd} \geq t * x_{ijkstd} \quad \forall i, t, d, e, k$
 $\forall j \leq p(k), s \leq s(k)$
- رابطه ۱-۱۶) $et_{iejkd} \geq st_{iejkd} + g_{ijkd} * \xi_s + \sum_{s \in s(k)} \sum_t x_{ijkstd} du_{ijsk} \quad \forall i, e = 1$
- رابطه ۲-۱۶) $et_{iejkd} \geq st_{iejkd} + \sum_{s \in s(k)} \sum_t x_{ijkstd} du_{ik} \quad \forall i, e = 2$
- رابطه ۱۷) $st_{iejkd} \geq et_{i(e-1)jkd} \quad \forall i, e \neq 1, d$
- رابطه ۱۸) $\sum_i \sum_{t' > t} \sum_{s}^{t+du_{i1}-1} x_{ijkstd} \leq 1 \quad \forall t, j \leq p(k), d$
- رابطه ۱۹) $\sum_i \sum_{j \in p(k)} \sum_{t' > t}^{t+du_{i1}-1} x_{ijkstd} \leq 1 \quad \forall s \in s(k), t, d$
- رابطه ۲۰) $g_{ijkd} \geq \sum_s \sum_{t > RT} x_{ijkstd} \quad \forall i, j, k, d$

$$ot_{jkd} \geq et_{iejkd} - RT \quad \forall j \leq p(k), d, e = 1 \quad \text{رابطه (۲۱)}$$

$$t_{skd} \geq \sum_i \sum_{j \in p(k)} \sum_t du_{ijsk} x_{ijkstd} \quad \forall s \leq s(k), d \quad \text{رابطه (۲۲)}$$

$$ots_{skd} \geq t_{skd} - h_{skd} \quad \forall s \leq s(k), d \quad \text{رابطه (۲۳)}$$

$$x_{ijkstd}, y_{ijkd}, z_{isk}, g_{ijkd} \in \{0, 1\} \quad \text{رابطه (۲۴)}$$

$$t_{skd}, ot_{skd}, ot_{jkd} \geq 0$$

تابع هدف A به دنبال کاهش هزینه‌ها شامل هزینه استقرار تسهیلات سیار و هزینه فاصله بیمارستان تا تسهیلات است. و هزینه خطا است. تابع هدف B به معنای کاهش اضافه‌کاری اتاق عمل (بالانس زمان فعالیت اتاق‌های عمل) و کاهش زمان اضافه‌کاری پزشکان (کاهش رخداد خطا) است. محدودیت ۱-۱ حداکثر تعداد تسهیلات سیاری که می‌تواند مستقر شوند را نشان می‌دهد. محدودیت ۱-۲ بیان می‌کند که تسهیلات ثابت در مدل همواره در حال فعالیت هستند. محدودیت ۲ نشان‌دهنده زمان سرویس‌دهی به بیمار است، هنگامی بیمار سرویس‌دهی می‌شود (به اتاق عمل تخصیص داده می‌شود) که تسهیلی وجود داشته باشد. هر بیمار در هر دوره توسط یک تسهییل سرویس‌دهی می‌شود که در محدودیت ۳ بیان شده است. محدودیت ۴ تضمین می‌نماید که هر عمل جراحی باید در یک اتاق عمل، توسط یک پزشک و در یک روز و در یک دوره زمانی انجام شود. محدودیت ۵ بیان می‌کند که در یک روز حداکثر یک جراحی در یک اتاق عمل و یک دوره می‌تواند انجام شود. از طرفی هر جراح در یک روز در یک دوره حداکثر یک جراحی می‌تواند انجام دهد که محدودیت ۶ بیان‌کننده این مسئله است. محدودیت ۷ نشان‌دهنده این است که هر بیمار به یک اتاق عمل تخصیص داده می‌شود و حداکثر یک بار در افق برنامه‌ریزی زمان‌بندی می‌شود. محدودیت ۸ بیان می‌کند که هر بیمار به یک جراح تخصیص داده می‌شود. هر جراحی در اتاق مخصوص به خود می‌بایست انجام شود که محدودیت ۹ نشان‌دهنده این موضوع است. محدودیت ۱۰ اطمینان حاصل می‌کند که هیچ عمل جراحی در زمان‌هایی که اتاق‌های عمل فعال نیستند انجام نمی‌شود. زمانی جراحی یک بیمار در اتاق J انجام می‌شود که بیمار به اتاق عمل تخصیص داده شده باشد که محدودیت ۱۱ نشان‌دهنده این موضوع است. محدودیت ۱۲ بیان‌کننده این است که هنگامی جراحی یک بیمار توسط یک جراح انجام می‌شود که بیمار به اتاق عمل تخصیص داده شده باشد. محدودیت ۱۳ بیان‌کننده در دسترس بودن جراح تخصیص داده شده به یک جراحی در مدت زمان برنامه‌ریزی شده است. محدودیت ۱۴ بیان‌کننده تخصص و کفایت جراح و همچنین مناسب بودن اتاق عمل جهت انجام جراحی می‌باشد. محدودیت‌های ۱۵، ۱۶-۱ و ۱۶-۲ به تعریف زمان شروع و پایان هر مرحله می‌پردازد. از طرفی باید در نظر داشت که مرحله ریکاوری زمانی شروع می‌شود که مرحله جراحی تمام شده باشد که این موضوع را می‌توان در محدودیت ۱۷ مشاهده کرد. محدودیت‌های ۱۸ و ۱۹ هم‌پوشانی مسئله را بررسی می‌کند. محدودیت ۲۰ بیان می‌کند که چنانچه جراحی بعد از زمان عادی باز بودن اتاق عمل شروع شود جراحی با خطا مواجه می‌شود. محدودیت ۲۱ تعریف مدت زمان اضافه‌کاری اتاق عمل است. محدودیت ۲۲ تعریف مدت

زمانی است که جراح در یک روز کار می‌کند و محدودیت ۲۳ تعریف متغیر مدت زمان اضافه‌کاری جراح است. محدودیت ۲۴ متغیرهای تصمیم را نشان می‌دهد.

روش حل

با توجه به اینکه برای سایز بزرگ مسئله روش‌های دقیق کارا نیست و زمان حل به‌صورت نمایی بالا می‌رود، بنابراین از الگوریتم‌های فراابتکاری برای حل مسئله در سایز بزرگ استفاده می‌شود. الگوریتم ژنتیک به‌عنوان یکی از روش‌های تصادفی بهینه‌سازی شناخته‌شده، توسط جان هالند^۱ (۱۹۷۱) ابداع شده است. الگوریتم ژنتیک یکی از انواع الگوریتم‌های تکاملی است که از علم زیست‌شناسی مثل وراثت، جهش و ترکیب الهام گرفته شده است. در الگوریتم ژنتیک ابتدا به‌صورت تصادفی یا الگوریتمیک، چندین جواب برای مسئله تولید می‌کنیم. این مجموعه جواب را جمعیت اولیه می‌نامیم. هر جواب را یک کروموزوم می‌نامیم. سپس با استفاده از عملگرهای الگوریتم ژنتیک و پس از انتخاب کروموزوم‌های بهتر، کروموزوم‌ها را باهم ترکیب کرده و جهشی در آنها ایجاد می‌کنیم. در نهایت نیز جمعیت فعلی را با جمعیت جدیدی که از ترکیب و جهش در کروموزوم‌ها حاصل می‌شود، ترکیب می‌کنیم. این فرایند تا زمان برقراری شرایط توقف ادامه می‌یابد.

نحوه تولید جواب اولیه

برای تولید جواب اولیه از یک روش ابتکاری استفاده شده است. تعداد جواب اولیه برابر با ۱۰۰ است. برای تولید جواب اولیه، ابتدا مجموع زمان‌های جراحی تمام بیماران را محاسبه می‌کنیم. سپس عدد به دست آمده را بر مجموع زمان عادی و اضافه‌کاری در یک روز تقسیم می‌کنیم. عدد به دست آمده تعداد روزهای بالقوه جهت انجام جراحی را فقط با یک اتاق عمل نشان می‌دهد (رابطه ۲۵). سپس هزینه استقرار هر تسهیل را بر تعداد اتاق‌های عمل آن تقسیم می‌کنیم. با توجه به مقدار به دست آمده، تسهیلی که اتاق‌های عمل آن هزینه استقرار کمتری داشته باشند را در نظر گرفته و آن را مستقر می‌کنیم (رابطه ۲۶). این نکته قابل ذکر است که فقط تسهیلات سیار در این حالت استقرار می‌یابند و تسهیلات ثابت از قبل مشخص و موجود هستند. اگر تسهیل مستقر شده نتواند با توجه به اتاق عمل‌های خود، تمام بیماران را مورد پوشش قرار دهد، تسهیل بعدی را انتخاب کرده و آن را مستقر می‌کنیم. این رویه تا زمانی که تمام بیماران، تحت پوشش قرار گیرند ادامه دارد. این حالت یک جواب اولیه موجه جهت تأسیس مراکز درمانی را می‌دهد. ۴۹ جواب دیگر با تعویض تصادفی تسهیلهای مستقر شده با تسهیلاتی که مستقر نشده‌اند، به دست می‌آید.

$$NOD = (du_{ijsk} + du_{ik}) / (RT + OT) \quad \text{رابطه ۲۵}$$

$$Cou_{[k]} = sort(c_k / j_k) \quad \text{رابطه ۲۶}$$

یک جواب دیگر بر حسب فاصله تسهیلات با بیماران به دست می‌آید. در این حالت، ابتدا برای هر تسهیل مجموع فاصله آن تسهیل تا تمام بیماران را حساب می‌کنیم. در این حالت تسهیلی که دارای کمترین فاصله با بیماران باشد را

مستقر می‌کنیم (رابطه ۲۷). اگر این تسهیل در تعداد روزهای موجود پاسخ‌گوی تمام بیماران نباشد، تسهیل بعدی را مستقر می‌کنیم. این رویه تا استقرار تعداد تسهیلات مورد نیاز جهت انجام عمل تمام بیماران در تعداد روزهای موجود ادامه دارد. این حالت یک جواب اولیه موجه جهت استقرار تسهیلات می‌دهد. ۴۹ جواب دیگر نیز با جابه‌جایی تسهیلات مستقر شده با تسهیلاتی که مستقر نشده‌اند به دست می‌آید.

$$Dist_{[k]} = sort \left(\sum_{i,k} dis_{ik} \right) \quad \text{رابطه ۲۷}$$

بعد از محاسبه تسهیلات مستقر شده، بیماران را به تسهیلات تخصیص می‌دهیم. در این حالت ابتدا مجموع تعداد بیماران را بر تعداد کل اتاق‌های عمل تمام تسهیلات مستقر شده، تقسیم می‌کنیم. این عدد تقریبی از تعداد بیماری که هر تسهیل با توجه به تعداد اتاق‌های عمل خود می‌تواند بپذیرد را می‌دهد. سپس بیماران را به نزدیک‌ترین تسهیل تخصیص می‌دهیم. در این حالت اگر تعداد بیماران تخصیص داده شده به یک تسهیل از حد تقریبی خود فراتر برود، دیگر بیماری به آن تخصیص داده نمی‌شود و بیماران را به تسهیلات نقاط دورتر تخصیص می‌دهیم. این حالت نیز یک جواب اولیه موجه جهت تخصیص بیماران به تسهیلات را می‌دهد. ۹۹ جواب دیگر با تعویض تصادفی در بیماران تخصیص داده شده به تسهیلات به دست می‌آید.

بعد از تخصیص بیماران به تسهیلات، جهت زمان‌بندی آنها، بیماران تخصیص داده شده به تسهیلات را به صورت تصادفی چیدمان می‌کنیم. بعد از چیدمان تصادفی آنها، بیماران را به اتاق‌های عمل تخصیص می‌دهیم. در این حالت بیماران به اتاق عملی می‌روند و پزشکی به آنها تخصیص داده می‌شود که زودتر خالی شود. محدودیت‌های مسئله جهت تخصیص پزشکان و اتاق‌های عمل به بیماران نیز در این حالت در نظر گرفته می‌شود.

نمایش کروموزوم

در الگوریتم ژنتیک، هر کروموزوم نشان‌دهنده یک نقطه در فضای جست‌وجو و یک راه‌حل ممکن برای مسئله مورد نظر است. برای نمایش کروموزوم از دو رشته استفاده شده است که رشته اول تأسیس تسهیلات درمانی سیار را نشان می‌دهد و رشته دوم بیماران تخصیص یافته به تمام تسهیلات به همراه چیدمان آنها جهت انجام عمل را نشان می‌دهد. در این رشته مراکز درمانی ثابت همواره موجود بوده و تأسیس شده هستند و مراکز درمانی سیار به این مراکز اضافه می‌شوند. به صورت کلی از تولید جوابی که در آن تسهیلات ثابت نقشی ندارند اجتناب شده است و این جوابها از مسئله حذف شده و با توجه به نحوه تولید جواب اولیه، جوابهای جدید جایگزین می‌شوند. طول بخش اول دارای یک سطر است برابر با تعداد بالقوه مراکز درمانی سیار و بخش دوم که ماتریسی با سطرهای تعداد مراکز استقرار داده شده و ثابت و ستون‌های بیماران است حداکثر به اندازه تعداد کل بیماران است.

برای مثال فرض کنید که مثالی با ۳ تسهیل درمانی بالقوه و ۱۰ بیمار را داریم. تسهیل شماره ۳ یک تسهیل ثابت و تسهیلات شماره ۱ و ۲ سیار هستند. تسهیل ۱ دارای ۲ اتاق عمل، تسهیل ۲ دارای ۱ اتاق عمل و تسهیل ۳ نیز دارای ۳ اتاق عمل است. شکل زیر ۲ رشته کروموزوم را نشان می‌دهد.

رشته اول	۳	۱	۲			
رشته دوم	۲	۶	۷	۳	۱۰	۵
	۹	۱	۸	۴		

شکل ۱. کروموزوم پیشنهادی

در شکل بالا، رشته اول به معنای تأسیس تسهیلات درمانی ۳ و ۱ هستند. در رشته دوم نیز به ترتیب سطر اول آن بیماران تخصیص داده شده به تسهیل ۳ و ترتیب جراحی آنها و سطر دوم نیز بیماران تخصیص داده شده به تسهیل ۱ و ترتیب جراحی آنها را نشان می‌دهد.

تابع برازندگی

به منظور حل هر مسئله با استفاده از الگوریتم ژنتیک، ابتدا باید یک تابع برازندگی برای آن مسئله تعریف شود. برای هر کروموزوم، این تابع عددی را بازمی‌گرداند که نشان‌دهنده شایستگی یا توانایی فردی آن کروموزوم است. برای هر کروموزوم تابع برازندگی مساوی با مجموع هزینه‌های تأسیس بیمارستان‌ها، اضافه‌کاری پزشکان و مدت‌زمان اضافه‌کاری اتاق‌های عمل باز است. نحوه محاسبه تابع برازندگی به صورت زیر است.

با توجه به رشته اول و دوم کروموزوم و مشخص بودن تسهیلات مستقر شده و همچنین بیماران تخصیص داده شده به تسهیلات مدنظر، مشخص بودن زمان‌بندی بیماران و مشخص بودن پزشکان در دسترس هر تسهیل، از اولین بیمار شروع به انجام عمل می‌کنیم. ابتدا مجموع زمان جراحی بیماران تخصیص داده شده به هر تسهیل را محاسبه می‌کنیم. اگر این زمان از مجموع زمان عادی در دسترس آن تسهیل (مجموع اتاق‌های عمل تسهیل در تعداد روزهای موجود) کمتر باشد، زمان‌بندی بیماران فقط در زمان عادی انجام می‌گیرد و در زمان اضافه‌کاری اتاق‌های عمل، هیچ عملی انجام نمی‌دهیم. در غیر این صورت، در زمان‌های اضافه‌کاری نیز عمل بیماران را انجام می‌دهیم. در این حالت بیمار اول به یک اتاق عمل به صورت تصادفی تخصیص داده و پزشک مورد نیاز آن را با توجه به اینکه تمام پزشکان مجاز، در ابتدای دوره زمانی در دسترس هستند، به صورت تصادفی انتخاب می‌شود. بیماران بعدی را نیز تا زمانی که تمام اتاق‌ها برای اولین بار پر شوند به آنها تخصیص می‌دهیم. هنگامی که تمام اتاق‌های عمل پر شدند، بیماران بعدی به اتاقی که زودتر خالی شود، تخصیص داده می‌شود. به همین ترتیب تمام بیماران را به اتاق‌های عمل تخصیص می‌دهیم. جهت تخصیص پزشکان به بیماران بعدی نیز از روش زیر جهت تخصیص آنها استفاده می‌کنیم.

روش پنجره‌های زمانی جهت تخصیص پزشکان

جهت تخصیص پزشکان به بیماران، مسئله را به پنجره‌های زمانی یک روزه تقسیم می‌کنیم. در این پنجره‌های زمانی اگر یک بیمار آماده جراحی بوده و اتاق مدنظر آن خالی باشد، جهت تخصیص پزشک به اتاق عمل، اگر تمام پزشکان مشغول فعالیت باشند، اتاق عمل به اجبار با بیکاری مواجه می‌شود و تا زمانی که یک پزشک آزاد شود، بیمار منتظر می‌ماند. اما اگر پزشکی در دسترس باشد جهت تخصیص یا عدم تخصیص آن، دو سناریو زیر را در نظر می‌گیریم.

سناریو ۱: پزشک را به بیمار مدنظر تخصیص می‌دهیم. در این حالت امکان دارد پزشک مدنظر در ادامه فعالیت خود با اضافه کاری مواجه شود اما اتاق با اضافه کاری مواجه نشود.

سناریو ۲: اگر با تخصیص پزشک به بیمار، پزشک با اضافه کاری مواجه شود، بیمار تا زمانی که پزشک بعدی آزاد شود منتظر می‌ماند. این انتظار تا زمانی ادامه دارد که پزشک با کمترین هزینه اضافه کاری برای انجام عمل جراحی بیمار آزاد شود. در این حالت اتاق عمل مدنظر با بیکاری مواجه می‌شود و این بیکاری امکان دارد باعث اضافه کاری اتاق عمل شود. دو سناریو بالا برای تمامی اتاق‌های عمل به صورت مجزا اعمال می‌شوند. در واقع این حالت یک بهینه محلی برای هر اتاق را به دست می‌آورد. در نهایت حالتی که کمترین مقدار تابع هدف برای هر اتاق را دارد انتخاب می‌شود. در سناریوهای بالا، اگر دو یا چند اتاق به صورت هم‌زمان خالی باشند، اولویت با اتاقی است که زودتر آزاد شده است.

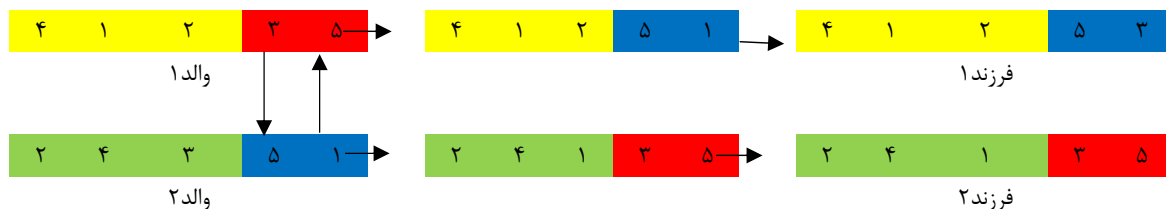
مکانیزم انتخاب

مکانیزم انتخاب در نظر گرفته شده چرخه رولت است. در این روش کروموزوم‌هایی که عدد برازش (تناسب) بیشتری داشته باشند، انتخاب می‌شوند. در واقع به نسبت عدد برازش برای هر جواب یک احتمال تجمعی نسبت می‌دهیم و با این احتمال است که شانس انتخاب هر جواب تعیین می‌شود.

ساختار روش تقاطع

به وسیله چرخه رولت به تعداد مشخصی کروموزوم انتخاب می‌شود. برای عملیات تقاطع از روش تقاطع نقطه‌ای استفاده شده است. ۲ نوع تقاطع مختلف برای مسئله در نظر گرفته شده است.

تقاطع ۱: در این حالت عملیات تقاطع روی رشته اول کروموزوم انجام می‌شود. در این حالت یک نقطه به صورت تصادفی انتخاب می‌شود و سپس عملیات تقاطع انجام می‌شود. پس از اعمال تقاطع برای آن که تسهیلات تکراری نداشته باشیم، تسهیلات را یک‌بار دیگر به صورت تصادفی در انتهای رشته اول کروموزوم چیده می‌شوند و سپس موارد تکراری حذف می‌شوند. این نکته قابل ذکر است که در این حالت در فعالیت تسهیلات ثابت خللی وارد نمی‌شود و همواره جزء تسهیلات مستقر شده هستند. شکل ۲ عملیات تقاطع روی دو والد را نشان می‌دهد. در این حالت ۵ مکان بالقوه برای استقرار تسهیلات داریم.



شکل ۲. عملیات تقاطع در رشته اول

نکته قابل ذکر در انجام عمل تقاطع در رشته اول این است که اگر با انجام این حالت تعداد تسهیلات مورد نیاز با توجه به تعداد اتاق عمل‌های باز و تعداد روزهای موجود در افق برنامه‌ریزی جهت انجام عمل تمام بیماران کافی نباشد،

تسهیل دیگری را نیز مستقر می‌کنیم. در این حالت تعدادی از بیماران در رشته دوم که در انتهای زمان‌بندی قرار دارند، را در نظر گرفته و به تسهیل جدید تخصیص می‌دهیم. این حالت تا زمانی که تمام بیماران در افق زمانی موجود بتوانند عمل شوند، ادامه دارد.

تقاطع ۲: در این حالت عملیات تقاطع روی رشته دوم کروموزوم انجام می‌شود. یک تسهیل را به تصادف انتخاب می‌کنیم و سپس عمل تقاطع را برای آن انجام می‌دهیم. در این حالت یک نقطه به صورت تصادفی انتخاب می‌شود و سپس عملیات تقاطع انجام می‌شود. پس از اعمال تقاطع برای آن که هیچ بیماری دو بار جراحی نشود، تمام رشته دوم را چک می‌کنیم. اگر تقاطع باعث به وجود آمدن بیماران تکراری در تسهیلی بشود که عمل تقاطع در آن انجام شده است، بیماران تکراری را حذف می‌کنیم. اگر بیماران تکراری بین تسهیل مدنظر و دیگر تسهیلات باشد، بیمارانی که در بعد از انجام تقاطع به یک تسهیل اضافه شده‌اند را نگه داشته و بیماران تکراری را از دیگر تسهیلات حذف می‌کنیم. همچنین در این تقاطع امکان دارد بعضی بیماران حذف شوند و در زمان‌بندی وجود نداشته باشند، که در این حالت بیماران حذف شده را در نظر گرفته به تسهیلاتی اضافه می‌کنیم که با انجام عمل تقاطع بعضی از بیماران آنها حذف شده‌اند. اگر بیماری از تسهیلات دیگر حذف نشده باشد، بیمارانی که در زمان‌بندی نیستند به صورت تصادفی به تسهیلات اضافه می‌شوند. شکل زیر عمل تقاطع روی رشته دوم را نشان می‌دهد.

رشته دوم	۳	۷	۱	۶	۱۰	۴
کروموزوم ۱	۲	۵	۸	۹		
رشته دوم	۲	۶	۵	۱	۴	
کروموزوم ۲	۸	۷	۱۰	۳	۹	

انتخاب کروموزوم و نقطه تقاطع

رشته دوم	۳	۷	۵	۱	۴	
کروموزوم ۱	۲	۵	۸	۹		
رشته دوم	۲	۶	۱	۶	۱۰	۴
کروموزوم ۲	۸	۷	۱۰	۳	۹	

انجام عمل تقاطع

اصلاح	۳	۷	۵	۱	۴
اصلاح	۲	۸	۹	۱۰	۶
اصلاح	۲	۱	۶	۱۰	۴
اصلاح کروموزوم	۸	۷	۳	۹	۵

شکل ۳. عملیات تقاطع در رشته دوم

ساختار روش جهش

استفاده از عملگر جهش از بهینگی زودرس و افتادن در بهینگی محلی جلوگیری می‌کند. برای جهش از روش تعویض تصادفی استفاده شده است. در این حالت مانند حالت قبل، دو جهش متفاوت برای مسئله داریم. که جهش اول برای رشته اول کروموزوم و جهش دوم برای رشته دوم کروموزوم اعمال است.

جهش ۱: در جهش اول دو نقطه از رشته اول کروموزوم به صورت تصادفی انتخاب می‌شوند و مکان آنها با یکدیگر تعویض می‌شود. در این حالت نیز مانند عمل تقاطع اگر تعداد تسهیلات موجود جهت انجام عمل تمام بیماران کافی نباشد، از رویه توضیح داده شده در تقاطع ۱ جهت استقرار تسهیلات جدید استفاده می‌کنیم.

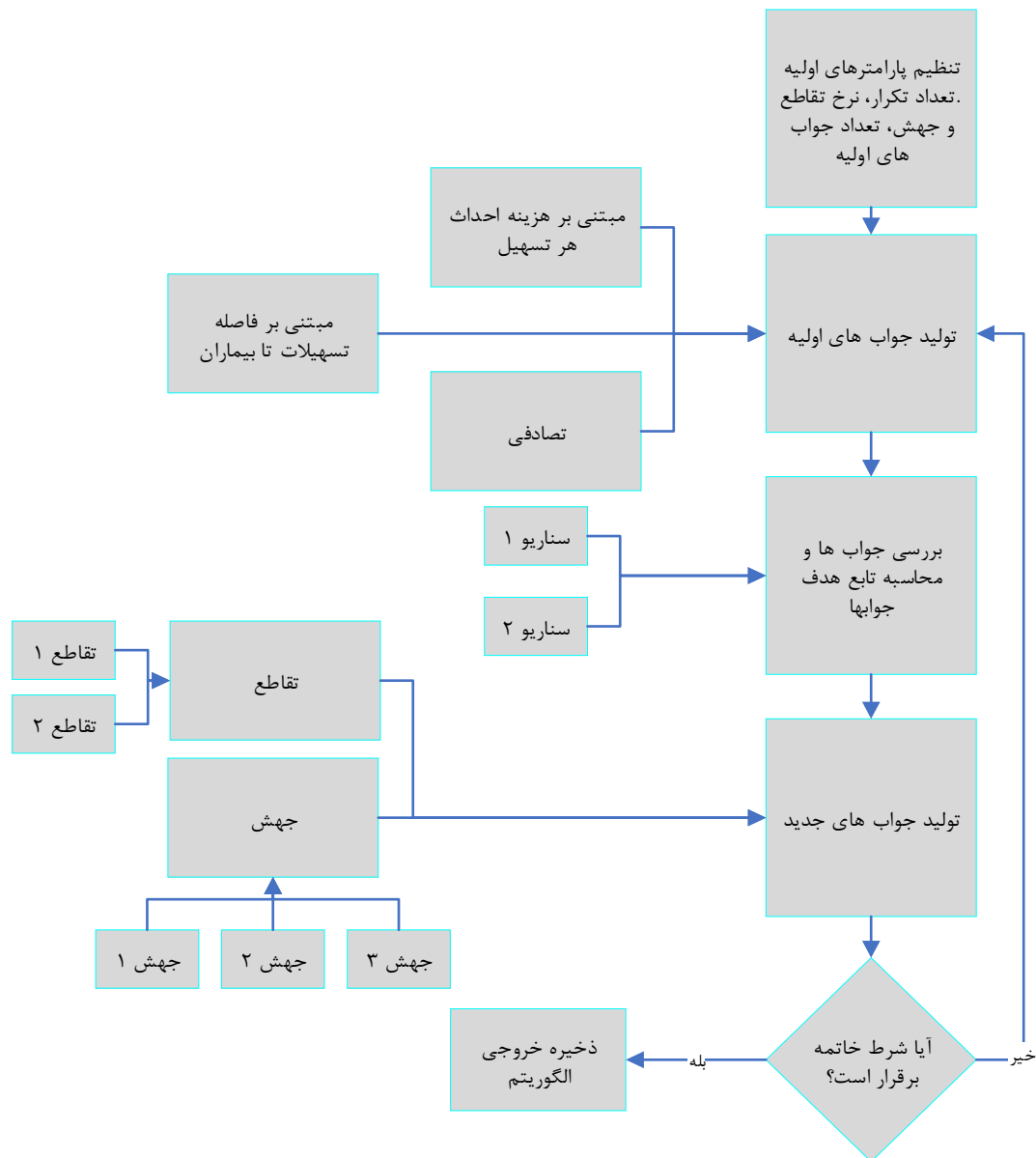
جهش ۲: در جهش دوم دو نقطه از رشته دوم به صورت تصادفی انتخاب می‌شوند و مکان آنها با یکدیگر تعویض می‌شود. در این جهش امکان دارد که دو نقطه از دو تسهیل متفاوت انتخاب شوند.

تولید مجدد

در هر تکرار جواب‌های جدیدی که از طریق عملگرهای ژنتیک تولید شده‌اند با جواب‌های اولیه ترکیب شده و به اندازه جمعیت اولیه بهترین جواب‌ها نگه‌داشته می‌شوند.

شرط توقف الگوریتم

شرط توقف الگوریتم ترکیبی از تعداد تکرار و همگرا شدن است. در واقع بیشینه تعداد تکرار ۴۰۰ است که از تکرار ۱ تا ۱۰۰ عملیات تقاطع و جهش فقط روی رشته اول اعمال می‌شود.



شکل ۴. فلوجارت الگوریتم پیشنهادی

از تکرار ۱۰۰ تا ۲۰۰ الگوریتم تنها تقاطع و جهش بر روی رشته دوم کروموزوم زده می‌شود و از تکرار ۲۰۰ تا ۴۰۰ الگوریتم عملیات تقاطع و جهش روی هر دو رشته کروموزوم انجام می‌شود. برای همگرا شدن، اگر ۱۰۰ عدد از بهترین جواب‌هایی که الگوریتم یافت مشابه باشند، الگوریتم متوقف می‌شود. در واقع، هر کدام از این دو شرط که زودتر برقرار شود الگوریتم متوقف می‌شود. شکل ۴ شبه کد الگوریتم را نشان می‌دهد.

یافته‌های پژوهش

در این بخش ابتدا شیوه تولید مسائل نمونه‌ای ذکر شده است و در ادامه نتایج به دست آمده از حل مسائل نمونه‌ای توسط الگوریتم ابتکاری تشریح می‌شود. محاسبات با استفاده از نرم‌افزار متلب و cplex در یک رایانه 5 corei با رم ۴ GB انجام شده است.

تولید داده‌ها

جهت تولید مسائل نمونه‌ای از تحقیق والی سیر و همکاران (۲۰۱۷) و شریف، رادیه، معین، عمر^۱ (۲۰۱۲) استفاده شده است. مسائل نمونه‌ای در سه اندازه کوچک، متوسط و بزرگ می‌باشند که در هر اندازه، ۱۰ مثال نمونه‌ای تولید شده است. در این حالت اتاق‌های عمل از ساعت ۸ صبح تا ساعت ۱۶ بعدازظهر باز هستند که از ساعت ۸ الی ۱۴ زمان عادی بوده و از ساعت ۱۴ الی ۱۶ زمان اضافه کاری است. در اندازه کوچک تعداد بیماران، مراکز بالقوه جهت استقرار تسهیلات، اتاق‌های عمل، پزشکان به ترتیب در بازه [۳۰ و ۱۵]، [۴ و ۲]، [۴ و ۲] و [۵ و ۳] قرار دارند. در اندازه متوسط تعداد بیماران، مراکز بالقوه جهت استقرار تسهیلات، اتاق‌های عمل، پزشکان به ترتیب در بازه [۶۰ و ۴۰]، [۷ و ۳]، [۸ و ۵] و [۸ و ۵] قرار دارند و در اندازه بزرگ تعداد بیماران، مراکز بالقوه جهت استقرار تسهیلات، اتاق‌های عمل، پزشکان به ترتیب در بازه [۱۵۰ و ۱۰۰]، [۸ و ۵]، [۱۲ و ۹] و [۱۵ و ۱۰] قرار دارند. علاوه بر موارد فوق میانگین مدت‌زمان جراحی یک عدد تصادفی در بازه [۶ و ۱] ساعت است و مدت‌زمان ریکاوری نیز یک عدد تصادفی در بازه [۲ و ۱] ساعت در نظر گرفته شده است. مدت‌زمان در دسترس بودن جراح در روز با توجه به ترجیح جراحان بین ۳ تا ۸ ساعت است. همچنین هزینه استقرار تسهیلات یک عدد تصادفی در بازه [۶۰۰۰ و ۲۰۰۰] در نظر گرفته شده است.

نتایج محاسباتی

در این قسمت مسئله به دو صورت تک هدفه و دوهدفه مورد بررسی قرار گرفته و نتایج آن گزارش شده است.

نتایج محاسباتی تحلیل تک هدفه

در این قسمت نتایج حاصل از حل مدل پیشنهادی با روش cplex الگوریتم پیشنهادی بررسی شده است. مدل پیشنهادی با استفاده از روش مجموع وزنی نرمال به یک مدل تک هدفه تبدیل شده است. در این حالت تابع هدف مدل به صورت زیر است.

$$\min D = w \frac{(obj_1 - obj_1^*)}{obj_1^*} + (1-w) \frac{(obj_2 - obj_2^*)}{obj_2^*} \quad \text{رابطه ۲۸}$$

در رابطه ۲۸، w ضریب تابع اهداف است. این ضریب می‌توان با توجه به اهمیت هر تابع هدف تغییر کند. اگر اهمیت تابع هزینه بیشتر باشد ($w > 0.5$) خواهد بود و اگر اهمیت تابع اضافه‌کاری بیشتر باشد ($w < 0.5$) خواهد بود و اگر هر دو تابع هدف دارای اهمیت مساوی باشند ($w = 0.5$) است. در این تحقیق، مقدار w به صورت مساوی در نظر گرفته شده است. obj_1^* و obj_2^* نیز به معنای مقدار بهینه اهداف اول و دوم مسئله در حالت تک هدفه هستند.

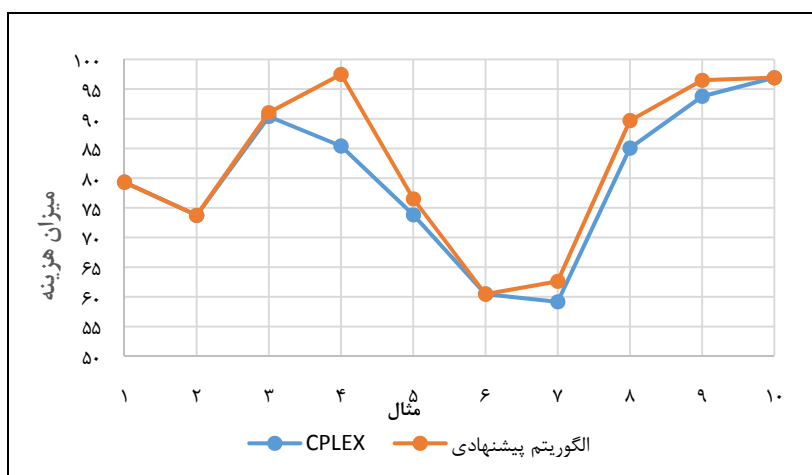
در جداول زیر d به معنای تعداد روزهای جراحی، k نشان‌دهنده تعداد مراکز بالقوه جهت تأسیس تسهیلات و i تعداد بیماران است. در این جدول انحراف الگوریتم پیشنهادی از هدف ۱ و هدف ۲ به صورت $\frac{obj_{GA} - obj_{cplex}}{obj_{GA}}$ و هدف سوم به صورت $obj_{GA} - obj_{cplex}$ به دست آمده است. همچنین بهبود زمان انتظار بیماران نسبت به حالتی که فقط یک تسهیل ثابت موجود است و بهبود فاصله بیماران تا تسهیلات در همین حالت نیز گزارش شده است.

جدول ۲. عملکرد الگوریتم فراابتکاری در سائز کوچک

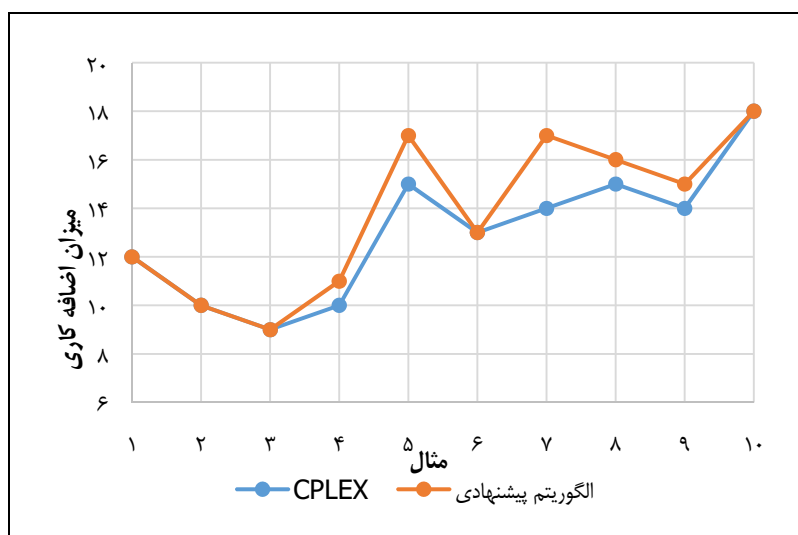
بهبود درصد فاصله تا تسهیلات	بهبود زمان انتظار (روز)	انحراف روش پیشنهادی از Cplex			الگوریتم پیشنهادی				Cplex				i	k	d	مثال
		هدف ۱	هدف ۲	هدف ۳	هدف ۱	هدف ۲	هدف کل	زمان کل	هدف ۱	هدف ۲	هدف کل	زمان کل				
۲۵/۰۶	۱/۶۸	۰	۰	۰	۱۰/۳۶	۲/۴۱	۱۲	۷۹۳۱۴	۲۰	۲/۴۱	۱۲	۷۹۳۱۴	۱۵	۲	۲	۱
۱۸/۰۷	۰/۳	۰	۰	۰	۱۲/۶۴	۱/۵۹	۱۰	۷۳۷۴۵	۹۸	۱/۵۹	۱۰	۷۳۷۴۵	۱۵	۲	۳	۲
۱۹/۳۶	۰/۹۶	۱۴/۳	۰	۰/۷	۱۳/۳۷	۰/۱۴	۹	۹۱۰۶۶	۲۰۶	۰/۱۲	۹	۹۰۴۰۴	۱۸	۲	۲	۳
۱۷/۷۹	۲/۷۵	۱۰/۷	۹/۱	۱۲/۴	۱۴/۷۱	۱/۶۹	۱۱	۹۷۴۹۷	۲۳۱۴	۱/۵۱	۱۰	۸۵۴۰۶	۱۸	۲	۳	۴
۳۰/۰۶	۰/۳۸	۰	۱۱/۸	۳/۵	۱۵/۰۹	۰/۰۹	۱۷	۷۳۵۲۱	۸۷	۰/۰۹	۱۵	۷۶۸۲۹	۲۰	۲	۲	۵
۲۴/۳۴	۰/۰۶	۰	۰	۰	۱۶/۶۷	۰	۱۳	۶۰۴۶۷	۶۴۸۷	۰	۱۳	۶۰۴۶۷	۲۰	۲	۳	۶
۳۷/۳۵	۲/۰۸	۲۷/۳	۱۷/۶	۵/۵	۱۵/۳۶	۰/۱۱	۱۷	۵۹۶۳۰	۴۱۶۳	۰/۰۸	۱۴	۶۲۱۷۷	۲۰	۲	۲	۷
۳۲/۸۳	۰/۷۲	۲/۵	۶/۳	۵/۲	۱۷/۲۹	۴/۷۳	۱۶	۸۹۷۰۰	۱۳۲۰	۴/۶۱	۱۵	۸۵۰۵۵	۲۵	۳	۳	۸
۱۶/۵	۱/۶۵	۴/۳	۶/۷	۲/۸	۱۷/۵۸	۱۵/۰۱	۱۵	۹۶۵۰۸	۲۰	۱۴/۳۶	۱۴	۹۳۷۹۶	۲۵	۳	۲	۹
۳۲/۴۳	۰/۶۲	۰	۰	۰	۱۹/۳۶	۴/۱۵	۱۸	۹۶۹۳۶	۳۶۰۷	۴/۱۵	۱۸	۹۶۹۳۶	۳۰	۴	۳	۱۰

در جدول ۲، میانگین مدت زمان انتظار بیماران نسبت به حالتی که فقط یک تسهیل مجاز به استقرار است ۱/۶۶ روز بهبود داشته است. همچنین فاصله بیماران از تسهیلات نیز ۳۸/۵۸ درصد کاهش دارد. این در حالی است که هزینه‌های مسئله در این حالت فقط ۲۴ درصد افزایش دارد. کاهش یک روز زمان انتظار بیماران ۱۴/۴۸ درصد و کاهش ۱ درصدی فاصله بیماران تا تسهیلات نیز ۰/۱۶۸ درصد واحد پولی هزینه به سیستم تحمیل می‌کند که در این حالت هزینه زیادی نیست. کاهش مدت‌زمان انتظار بیماران و فاصله آنها تا تسهیلات، خدمت‌رسانی را به طور فزاینده‌ای بهبود

می‌دهد و باعث رضایت هرچه بیشتر بیماران می‌گردد. علاوه بر این مورد، تلفات ناشی از این حالت را نیز به حداقل می‌رساند. در جدول بالا روش پیشنهادی توانسته است ۴ مسئله را به صورت دقیق حل کند. همچنین میانگین انحراف الگوریتم پیشنهادی از جواب در اهداف ۱ و ۲ و ۳ به ترتیب برابر با $3/01$ و $5/15$ و $5/91$ درصد است که نشان از کارآمدی روش پیشنهادی دارد. در این حالت میانگین زمان حل روش cplex برابر با $1832/2$ و روش پیشنهادی $15/24$ است. همچنین قابل مشاهده است که با افزایش تعداد روزها و اتاق‌های عمل، هزینه‌های مسئله با کاهش همراه است. نمودارهای زیر میزان اختلاف توابع اهداف را با روش دقیق نشان می‌دهد.



شکل ۵. اختلاف الگوریتم پیشنهادی با روش دقیق در هدف هزینه



شکل ۶. اختلاف الگوریتم پیشنهادی با روش دقیق در هدف اضافه کاری

جدول زیر خلاصه نتایج مسائل نمونه‌ای با اندازه متوسط را نشان می‌دهد.

جدول ۳. عملکرد الگوریتم فراایکتاری در سایز متوسط

فاصله تا تسهیلات بهبود درصد	بهبود زمان انتظار (روز)	بهبود روش پیشنهادی نسبت به Cplex			الگوریتم پیشنهادی				Cplex				مثال	d	k	i
		هدف ۱	هدف ۲	هدف ۳	زمان کل	هدف کل	هدف ۲	هدف ۱	زمان کل	هدف کل	هدف ۲	هدف ۱				
۵۸/۶۹	۲/۳۱	۴۵/۷۴	۱۴/۲۹	۱۱/۱۷	۳۰/۸۲	۱/۹۱	۳۶	۷۵۶۵۰	۷۲۰۰	۳/۵۲	۴۲	۸۵۱۶۲	۴۰	۴	۵	۱
۶۷/۳۴	۱/۷۸	۸/۲۴	۱۳/۲۱	۱۲/۵۶	۳۰/۵۴	۵/۶۸	۴۶	۶۴۰۲۳	۷۲۰۰	۶/۱۹	۵۳	۷۳۲۲۲	۴۰	۳	۴	۲
N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	۳۶/۴	۴/۳	۵۱	۹۷۳۰۱	۷۲۰۰	N/A	N/A	N/A	۴۰	۳	۷	۳
N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	۴۰/۷۱	۶/۲۷	۵۳	۱۱۲۹۱۵	۷۲۰۰	N/A	N/A	N/A	۴۵	۵	۷	۴
N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	۳۷/۹۶	۴/۸	۵۸	۳۸۱۵۱	۷۲۰۰	N/A	N/A	N/A	۴۵	۵	۶	۵
N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	۳۷/۶۶	۳/۹	۶۳	۸۳۴۳۳	۷۲۰۰	N/A	N/A	N/A	۴۵	۵	۵	۶
N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	۴۲/۸۵	۵/۴۵	۵۱	۱۱۹۴۴۷	۷۲۰۰	N/A	N/A	N/A	۶۰	۵	۶	۷
N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	۴۵/۴۸	۴/۹۴	۵۳	۷۵۲۲۹	۷۲۰۰	N/A	N/A	N/A	۶۰	۵	۸	۸
N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	۴۱/۳۸	۳/۷۸	۴۸	۱۲۰۹۶۸	۷۲۰۰	N/A	N/A	N/A	۵۰	۵	۶	۹
N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	۴۸/۷	۵/۱۵	۶۱	۸۷۵۷۸	۷۲۰۰	N/A	N/A	N/A	۶۰	۷	۸	۱۰

در جدول بالا روش Cplex فقط توانسته است ۲ مثال از ۱۰ مثال موجود را به طور کامل حل کند. میانگین مدت‌زمان انتظار بیماران و فاصله آنها از تسهیلات نسبت به حالتی که فقط یک تسهیل مجاز به استقرار است به ترتیب برابر با ۲/۰۴ روز و ۶۳/۱۹ درصد است. در این حالت هزینه‌های مسئله فقط ۳۶ درصد افزایش دارد. کاهش یک روز زمان انتظار بیماران ۱۷/۶۳ درصد و کاهش ۱ درصدی فاصله بیماران تا تسهیلات نیز ۵۷٪ واحد پولی هزینه به سیستم تحمیل می‌کند که در این حالت هزینه زیادی نیست. میانگین زمان حل این روش برابر با ۷۲۰۰ ثانیه است (زمان حل روش Cplex در ۷۲۰۰ ثانیه محدود شده است). در این حالت الگوریتم پیشنهادی توانسته تمام مسائل را در زمانی کمتر از ۴۹ ثانیه حل کند. بهبود الگوریتم پیشنهادی نسبت به روش Cplex در ۲ مثالی که به صورت کامل حل شده است در اهداف ۱ و ۲ و ۳ به ترتیب برابر با ۱۱/۸۶ و ۱۳/۷۵ و ۲۶/۹۹ درصد است.

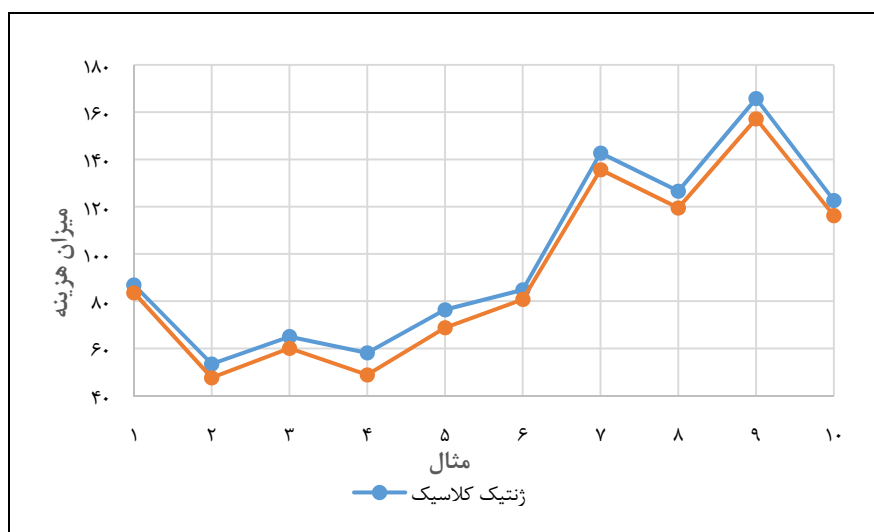
در جدول ۴ که مسائل اندازه بزرگ بررسی شده است، روش Cplex قادر به حل هیچ‌یک از مثال‌ها نبود، از این رو، در این حالت روش پیشنهادی با یک الگوریتم ژنتیک کلاسیک مقایسه شده است. در الگوریتم ژنتیک کلاسیک، جواب اولیه به صورت کاملاً تصادفی محاسبه می‌شود. تابع ارزیابی جواب‌ها نیز در تمام حالات موارد را به صورت تصادفی محاسبه می‌کند. میانگین مدت‌زمان انتظار بیماران و فاصله بیماران تا تسهیلات نسبت به حالتی که فقط یک تسهیل مجاز به استقرار است ۱/۱۲ روز و ۲۵/۳۷ درصد بهبود داشته است. این در حالی است که هزینه‌های مسئله در این حالت فقط ۳۷ درصد افزایش دارد. کاهش یک روز زمان انتظار بیماران و ۱ درصد فاصله تا تسهیلات به ترتیب ۳۳/۰۳ و ۱/۴۵ درصد واحد پولی هزینه به سیستم تحمیل می‌کند که در این حالت هزینه زیادی نیست. کاهش مدت‌زمان انتظار

بیماران و فاصله آنها تا تسهیلات، خدمت‌رسانی را به طور فزاینده‌ای بهبود می‌دهد و باعث رضایت هرچه بیشتر بیماران می‌گردد. علاوه بر این مورد، تلفات ناشی از این حالت را نیز به حداقل می‌رساند. در جدول بالا میانگین انحراف الگوریتم پیشنهادی از جواب GA در اهداف ۱ و ۲ و ۳ به ترتیب برابر با ۷/۴۲ و ۱۸/۶۷ و ۵۳/۶۷ درصد است که نشان‌دهنده کارآمدی روش پیشنهادی است. در این حالت میانگین زمان حل روش GA ۷۴/۶ و روش پیشنهادی ۸۱/۱ است.

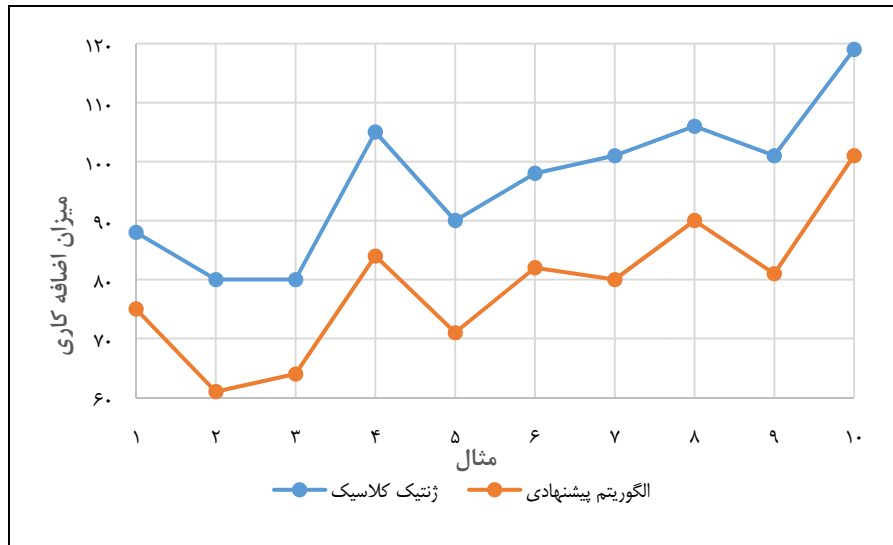
جدول ۴. عملکرد الگوریتم فراایکتاری در سایز بزرگ

بهبود درصد فاصله تا تسهیلات	بهبود زمان انتظار (روز)	بهبود روش پیشنهادی نسبت به GA			الگوریتم پیشنهادی			ژنتیک کلاسیک				i	k	d	مثال	
		هدف ۱	هدف ۲	هدف کل	زمان کل	هدف کل	هدف ۲	هدف ۱	زمان کل	هدف کل	هدف ۲					هدف ۱
۲۵/۰۶	۱/۶۸	۴۰/۹۱	۱۴/۷۷	۳/۸۲	۷۰/۱۳	۲/۰۸	۷۵	۸۳۵۴۵	۶۳/۱۳	۳/۵۲	۸۸	۸۶۸۶۰	۱۰۰	۵	۱۰	۱
۱۸/۰۷	-/۳	۶۶/۶۸	۲۳/۷۵	۱۰/۸۹	۷۲/۱۶	۱/۹۴	۶۱	۴۷۵۸۳	۶۶/۱۶	۶/۱۹	۸۰	۵۳۳۹۷	۱۰۰	۶	۱۰	۲
۱۹/۳۶	-/۹۶	۴۱/۳۶	۲۰	۷/۵۶	۶۹/۲۱	۳/۶۳	۶۴	۶۰۰۳۲	۶۲/۲۱	۶/۱۹	۸۰	۶۴۹۴۴	۱۰۰	۷	۱۰	۳
۱۷/۷۹	۲/۷۵	۷۱/۰۸	۲۰	۱۶/۰۸	۷۸/۳۷	۱/۷۹	۸۴	۴۸۷۸۳	۷۲/۳۷	۶/۱۹	۱۰۵	۵۸۱۲۸	۱۲۵	۷	۱۵	۴
۳۰/۰۶	-/۳۸	۳۷/۹۶	۲۱/۱۱	۹/۹۷	۷۹/۲۴	۳/۸۴	۷۱	۶۸۷۶۲	۷۲/۲۴	۶/۱۹	۹۰	۷۶۳۸۱	۱۲۵	۷	۱۶	۵
۲۴/۳۴	-/۰۶	۲/۴۲	۱۶/۳۳	۴/۷۹	۷۷/۷۹	۶/۰۴	۸۲	۸۰۷۵۴	۷۱/۷۹	۶/۱۹	۹۸	۸۴۸۱۸	۱۲۵	۷	۱۷	۶
۳۷/۳۵	۲/۰۸	۷۴/۳۱	۲۰/۷۹	۴/۹۶	۸۳/۴۸	۱/۵۹	۸۰	۱۳۵۶۲۲	۷۷/۴۸	۶/۱۹	۱۰۱	۱۴۲۶۹۹	۱۳۰	۸	۱۷	۷
۳۲/۸۳	-/۷۲	۷۹/۴۸	۱۵/۰۹	۵/۶	۸۲/۱۷	۱/۲۷	۹۰	۱۱۹۴۵۸	۷۵/۱۷	۶/۱۹	۱۰۶	۱۲۶۵۴۶	۱۳۰	۶	۱۷	۸
۱۶/۵	۱/۶۵	۴۳/۳	۱۹/۸	۵/۱۸	۹۷/۴۳	۳/۵۱	۸۱	۱۵۷۱۸۳	۹۰/۴۳	۶/۱۹	۱۰۱	۱۶۵۷۶۳	۱۵۰	۵	۲۰	۹
۳۲/۴۳	-/۶۲	۷۷/۲۲	۱۵/۱۳	۵/۲۷	۱۰۱/۰۵	۱/۴۱	۱۰۱	۱۱۶۱۵۱	۹۵/۰۵	۶/۱۹	۱۱۹	۱۲۲۶۱۳	۱۵۰	۷	۲۰	۱۰

نمودارهای زیر میزان بهبود جواب‌های الگوریتم پیشنهادی نسبت به روش کلاسیک را نشان می‌دهند.



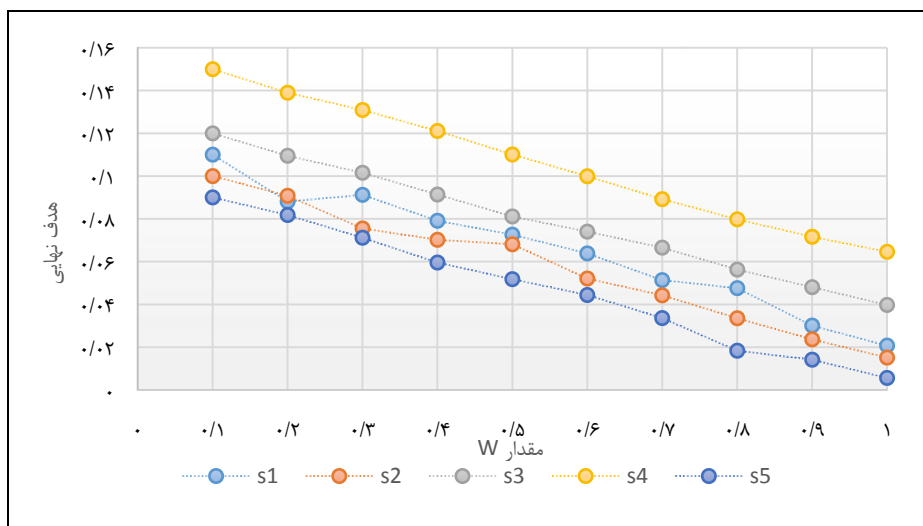
شکل ۷. میزان بهبود روش پیشنهادی در مقایسه با روش کلاسیک در تابع هدف اضافه‌کاری



شکل ۸. میزان بهبود روش پیشنهادی در مقایسه با روش کلاسیک در تابع هدف هزینه

بررسی تغییرات هدف نهایی مسئله با مقدار W

در نمودار زیر میزان تغییر تابع هدف نهایی مسئله متناسب با تغییرات مقدار وزن تابع هدف برای ۵ مسئله نمونه‌ای در ابعاد کوچک به صورت نمونه آورده شده است. در این نمودار قابل مشاهده است که در تمام حالات با افزایش مقدار W، میزان هدف نهایی مسئله نیز کاهش یافته است. این کاهش بیشتر در هدف اول مسئله مشهود است. زیرا هرچه وزن تابع هدف هزینه در مسئله بیشتر شود، تأثیر هزینه‌ها در مسئله افزایش یافته و در نتیجه مقدار هزینه‌ها کاهش پیدا می‌کند.



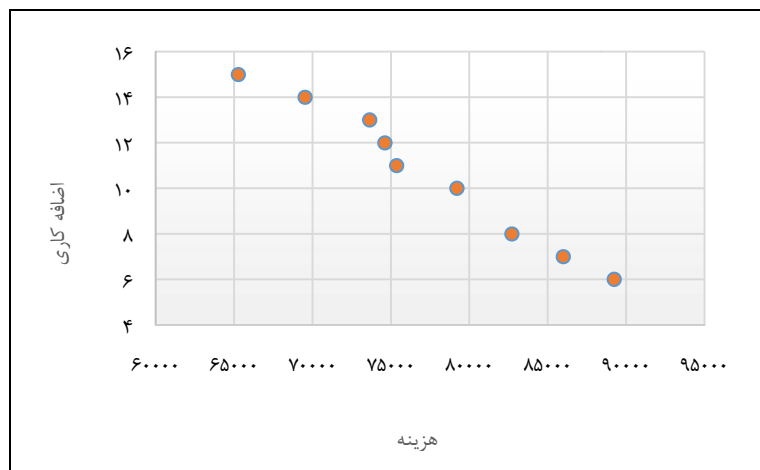
شکل ۹. میزان تغییر تابع هدف نهایی مسئله تک هدفه با تغییر میزان W

نتایج محاسباتی تحلیل دوهدفه

در این قسمت مسئله به صورت دوهدفه مورد تحلیل قرار گرفته است. در این حالت از روش الگوریتم ژنتیک مرتب‌سازی

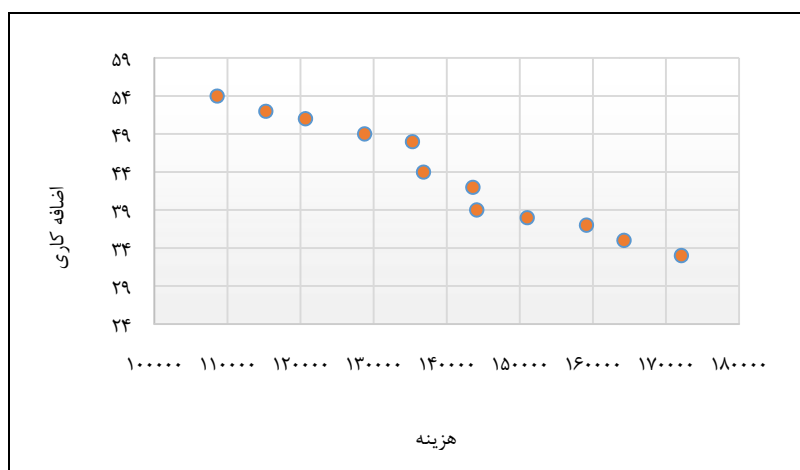
تسلط نیافته (NSGII) با مرتب سازی نامغلوب برای حل مسئله بهره گرفته شده است. در زیر دو نمونه در سایز کوچک و متوسط به صورت دوهدفه بررسی شده است.

در نمودار زیر، مسئله نمونه‌ای شماره ۵ از سایز کوچک به صورت دوهدفه مورد بررسی قرار گرفته است. در این حالت شاهد نقاطی هستیم که هیچ کدام بر یکدیگر غلبه نمی‌کنند و همچنین از فاصله و پراکندگی کمی با یکدیگر برخوردار هستند که تعداد انتخاب‌های تصمیم گیرنده در مورد مسئله را افزایش می‌دهد.



شکل ۱۰. نمودار پارتو مسئله برای ابعاد کوچک

در نمودار زیر نیز مسئله نمونه‌ای شماره ۷ از سایز متوسط به صورت دوهدفه مورد بررسی قرار گرفته است. در این حالت نیز مانند حالت قبل شاهد نقاطی هستیم که هیچ کدام بر یکدیگر غلبه نمی‌کنند و همچنین از فاصله و پراکندگی کمی با یکدیگر برخوردار هستند که تعداد انتخاب‌های تصمیم گیرنده در مورد مسئله را افزایش می‌دهد.



شکل ۱۱. نمودار پارتو مسئله برای ابعاد متوسط

نتیجه‌گیری و پیشنهادها

در این مقاله، یک مدل یکپارچه جهت زمان‌بندی اتاق‌های عمل با در نظر گرفتن تسهیلات سیار در کنار تسهیلات ثابت جهت استقرار تسهیلات در مکان مناسب، تخصیص بیماران به تسهیلات و اتاق‌های عمل و زمان‌بندی اتاق‌های عمل با اهداف کاهش هزینه‌ها (شامل هزینه استقرار تسهیلات سیار و فاصله بیماران از تسهیلات) و کاهش زمان اضافه‌کاری (اتاق‌های عمل و پزشکان) ارائه شده است. هر بیمار به پزشک و اتاق عمل مخصوص خود نیاز دارد. با توجه به NP-hard بودن مدل و ناتوانی روش‌های دقیق برای حل مسائل در مقیاس بزرگ، یک روش فراابتکاری مبتنی بر الگوریتم ژنتیک برای مسئله توسعه داده شده است و کارایی آن در طیف وسیعی از مثال‌های نمونه‌ای مورد بررسی قرار گرفته است. نتایج نشان می‌دهد مکان‌یابی و زمان‌بندی هم‌زمان باعث می‌شود مدت‌زمان انتظار بیماران و فاصله آنها تا تسهیلات به صورت میانگین $1/73$ روز و $39/26$ درصد کاهش یابد. برای ابعاد کوچک، متوسط و بزرگ، مدت‌زمان انتظار بیماران به ترتیب برابر با $2/23$ و $2/03$ و $1/69$ روز و برای فاصله تا تسهیلات به ترتیب $39/67$ و $43/26$ و $29/06$ درصد است. این حالت باعث افزایش رضایت بیماران و کاهش تلفات ناشی از این امر می‌گردد. همچنین فاصله الگوریتم پیشنهادی در ابعاد کوچک، برای اهداف ۱ و ۲ و ۳ نسبت به روش Cplex برابر با $3/01$ و $5/15$ و $5/91$ درصد است. این در حالی است که در ابعاد متوسط که روش Cplex فقط قادر به حل ۲ مثال از ۱۰ مثال موجود است بهبود روش پیشنهادی نسبت به روش Cplex برابر با $11/86$ و $13/75$ و $26/99$ درصد است. همچنین در ابعاد بزرگ که روش Cplex قادر به حل هیچ مثالی نیست بهبود روش پیشنهادی نسبت به الگوریتم ژنتیک کلاسیک برابر با $7/42$ و $18/67$ و $53/67$ درصد است. بررسی هم‌زمان مکان‌یابی و استقرار تسهیلات سیار در کنار تسهیلات ثابت جهت کاهش بار کاری تسهیلات، تخصیص بیماران به آنها و زمان‌بندی اتاق‌های عمل همراه با پزشکان متخصص باعث افزایش رضایت بیشتر بیماران و کاهش هزینه‌های ناشی از نبود تسهیلات مناسب در این امر است. برای مطالعات آتی می‌توان بیماران اورژانسی را در مسئله بررسی کرد و از عدم قطعیت در مدل جهت رسیدن به نتایجی واقعی‌تر بهره گرفت.

منابع

- جقتایی نوایی، مهدی؛ رجب‌زاده، محسن؛ بزرگی امیری، علی (۱۳۹۵). مکان‌یابی و تخصیص خدمات بیمارستانی با در نظر گرفتن معیارهای هزینه و کارایی: مطالعه موردی شهرستان آمل. *فصلنامه مدیریت سلامت*، ۱۹ (۶۳)، ۲۱-۳۳.
- دباغ، علی؛ اکبری، محمداسماعیل؛ فتحی، محمد (۱۳۸۵). بررسی الگوهای خطاهای پزشکی در سیستم‌های سلامت. *فصلنامه مجله دانشگاه علوم پزشکی ارتش جمهوری اسلامی ایران*، ۳ (۱۵)، ۹۵۷-۹۶۶.
- کاووسی، زهرا؛ ستوده زاده، فاطمه؛ فردید، مزگان؛ غلامی، مریم؛ خجسته فر، مرضیه؛ حاتم، محبوبه؛ زهرا تحیتی، زهرا؛ غلامرضا، فرهادی (۱۳۹۶). بررسی خطاهای فرایندهای اتاق عمل بیمارستان نمازی با روش تحلیل حالات و اثرات خطا. *فصلنامه بیمارستان*، ۱۶ (۳)، ۵۷-۷۰.

References

- Aeinparast, A. (1998). Methods of determining costs of patients based on diagnosis related group (DRG). *Journal of Health Administration*, 2(3), 94-105.

- Afshari, H., & Peng, Q. (2014). Challenges and solutions for location of healthcare facilities. *Industrial Engineering & Management*, 3(1), 12.
- Altay, N., Green, W.G. (2006). OR/MS research in disaster operations management. *European Journal of Operational Research*, 175 (1), pp. 475-493
- Aringhieri, R., Bruni, M.E., Khodaparasti, S. (2017). Emergency medical services and beyond: addressing new challenges through a wide literature review. *Computers & Operations Research*, 78, 349-368.
- Aringhieri, R., Landa, P., Soriano, P., Tànfani, E., & Testi, A. (2015). A two level metaheuristic for the operating room scheduling and assignment problem. *Computers & Operations Research*, 54, 21-34.
- Bai, M. (2017). Optimization of Surgery Scheduling in Multiple Operating Rooms with Post Anesthesia Care Unit Capacity Constraints.
- Başar, A., Çatay, B., Ünlüyurt, T. (2012). A taxonomy for emergency service station location problem. *Optimization Letters*, 6, 1147-1160
- Bélanger, V., Ruiz, A., Soriano, P. (2019). Recent optimization models and trends in location, relocation, and dispatching of emergency medical vehicles. *European Journal of Operational Research*, 272 (1), 1-23.
- Belkhamza, M., Jarboui, B., & Masmoudi, M. (2018). Two metaheuristics for solving no-wait operating room surgery scheduling problem under various resource constraints. *Computers & Industrial Engineering*, 126, 494-506.
- Bernstein, J., MacCourt, D., & Abramson, B. D. (2008). Topics in medical economics: Medical malpractice. *The Journal of Bone & Joint Surgery*, 90(8), 1777-1782.
- Cardoen, B., Demeulemeester, E., & Beliën, J. (2010). Operating room planning and scheduling: A literature review. *European journal of operational research*, 201(3), 921-932.
- Cramer, H., Pohlbeln, H., & Habermann, M. (2013). Factors causing or influencing nursing errors as perceived by nurses: findings of a cross-sectional study in German nursing homes and hospitals. *Journal of Public Health*, 21(2), 145-153.
- Dabagh, A., Akbari, A. M., & Fathi, M. (2006). Medical errors in the health system. *Annals of Military and Health Sciences Research*, 3(15), 957- 966. (in Persian)
- Daskin, M. S., & Dean, L. K. (2005). *Location of health care facilities. In Operations research and health care* (pp. 43-76). Springer, Boston, MA.
- Di Martinelly, C., & Meskens, N. (2017). A bi-objective integrated approach to building surgical teams and nurse schedule rosters to maximise surgical team affinities and minimise nurses' idle time. *International Journal of Production Economics*, 191, 323-334.
- Galindo, G., Batta, R. (2013). Review of recent developments in OR/MS research in disaster operations management. *European Journal of Operational Research*, 230 (2), 201-211
- Green, L.V., Kolesar, P. (2004). Improving emergency responsiveness with management science. *Management Science*, 50 (8), 1001-1014.

- Guerriero, F., & Guido, R. (2011). Operational research in the management of the operating theatre: a survey. *Health care management science*, 14(1), 89-114.
- Heidari-Fathian, H., Pasandideh, S.H.R. (2018). Green-Blood supply chain network design: Robust optimization, Bounded Objective Function & Lagrangian relaxation. *Computers & Industrial Engineering*, 122, 95-105.
- Hodgson, M. J. (1988). An hierarchical location-allocation model for primary health care delivery in a developing area. *Social Science & Medicine*, 26(1), 153-161.
- Holland, J. H. (1992). *Adaptation in natural and artificial systems: an introductory analysis with applications to biology, control, and artificial intelligence*. MIT press.
- Jaghtaei Navaee, J. M., Rajabzadeh, M., & Bozorgi Amiri, A. (2016). locating and allocating hospital service on the basis of cost and efficiency: case study of amol. (in Persian)
- Jebali, A., Alouane, A. B. H., & Ladet, P. (2006). Operating rooms scheduling. *International Journal of Production Economics*, 99(1-2), 52-62.
- Kavosi, Z., Setoodehzadeh, F., Fardid, M., Gholami, M., Khojastefar, M., Hatam, M., & Fardid, G. (2017). Risk Assessment of the Processes of Operating Room Department using the Failure Mode and Effects Analysis (FMEA) Method. *Journal of Hospital*, 16(3), 57-70. (in Persian)
- Landa, P., Aringhieri, R., Soriano, P., Tànfani, E., & Testi, A. (2016). A hybrid optimization algorithm for surgeries scheduling. *Operations Research for Health Care*, 8, 103-114.
- Liu, Y., Chu, C., & Wang, K. (2011). A new heuristic algorithm for the operating room scheduling problem. *Computers & Industrial Engineering*, 61(3), 865-871.
- Marques, I., Captivo, M. E., & Pato, M. V. (2012). An integer programming approach to elective surgery scheduling. *OR spectrum*, 34(2), 407-427.
- Meskens, N., Duvivier, D., & Hanset, A. (2013). Multi-objective operating room scheduling considering desiderata of the surgical team. *Decision Support Systems*, 55(2), 650-659.
- Mestre, A. M., Oliveira, M. D., & Barbosa-Póvoa, A. (2012). Organizing hospitals into networks: a hierarchical and multiservice model to define location, supply and referrals in planned hospital systems. *OR spectrum*, 34(2), 319-348.
- Mestre, A. M., Oliveira, M. D., & Barbosa-Póvoa, A. P. (2015). Location-allocation approaches for hospital network planning under uncertainty. *European Journal of Operational Research*, 240(3), 791-806.
- Minas, J.P., Simpson, N.C., Tacheva, Z.Y. (2020). Modeling emergency response operations: a theory building survey. *Computers & Operations Research*, 119, 104921.
- Mitropoulos, P., Mitropoulos, I., & Giannikos, I. (2013). Combining DEA with location analysis for the effective consolidation of services in the health sector. *Computers & Operations Research*, 40(9), 2241-2250.
- Molina-Pariente, J. M., Fernandez-Viagas, V., & Framinan, J. M. (2015). Integrated operating room planning and scheduling problem with assistant surgeon dependent surgery durations. *Computers & Industrial Engineering*, 82, 8-20.

- Nagpal, K., Vats, A., Ahmed, K., Smith, A. B., Sevdalis, N., Jonannsson, H., ... & Moorthy, K. (2010). A systematic quantitative assessment of risks associated with poor communication in surgical care. *Archives of surgery*, 145(6), 582-588.
- Phillips, N. (2016). *Berry & Kohn's operating room technique*. (14th ed). Elsevier Health Sciences.
- Rahman, S. U., & Smith, D. K. (1999). Deployment of rural health facilities in a developing country. *Journal of the Operational Research Society*, 50(9), 892-902.
- Reuter-Oppermann, M., van den Berg, P.L., Vile, J.L. (2017). Logistics for emergency medical service systems. *Health Systems*, 6 (3), 187-208.
- Rogers, A. E., Hwang, W. T., Scott, L. D., Aiken, L. H., & Dinges, D. F. (2004). The working hours of hospital staff nurses and patient safety. *Health affairs*, 23(4), 202-212.
- Roland, B., Di Martinelly, C., Riane, F., & Pochet, Y. (2010). Scheduling an operating theatre under human resource constraints. *Computers & Industrial Engineering*, 58(2), 212-220.
- Saadouli, H., Jerbi, B., Dammak, A., Masmoudi, L., & Bouaziz, A. (2015). A stochastic optimization and simulation approach for scheduling operating rooms and recovery beds in an orthopedic surgery department. *Computers & Industrial Engineering*, 80, 72-79.
- Samani, M. R. G., Torabi, S. A., Hosseini-Motlagh, S. M. (2017). Integrated blood supply chain planning for disaster relief. *International journal of disaster risk reduction*, 27, 168-188.
- Shariff, S. R., Moin, N. H., & Omar, M. (2012). Location allocation modeling for healthcare facility planning in Malaysia. *Computers & Industrial Engineering*, 62(4), 1000-1010.
- Simpson, N.C., Hancock, P.G. (2009). Fifty years of operational research and emergency response. *Journal of the Operational Research Society*, 60 (2), pp. 126-139
- Tranter, M. A., Gregoire, M. B., Fullam, F. A., & Lafferty, L. J. (2009). Can patient-written comments help explain patient satisfaction with food quality? *Journal of the American Dietetic Association*, 109(12), 2068-2072.
- Vali Siar, M. M., Gholami, S., & Ramezani, R. (2017). Multi-period and multi-resource operating room scheduling and rescheduling using a rolling horizon approach: A case study. *Journal of Industrial and Systems Engineering*, 10, 97-115.
- Vali-Siar, M. M., Gholami, S., & Ramezani, R. (2018). Multi-period and multi-resource operating room scheduling under uncertainty: A case study. *Computers & Industrial Engineering*, 126, 549-568.
- Van Essen, J. T., Hans, E. W., Hurink, J. L., & Oversberg, A. (2012). Minimizing the waiting time for emergency surgery. *Operations Research for Health Care*, 1(2-3), 34-44..
- Xiang, W., Yin, J., & Lim, G. (2015). An ant colony optimization approach for solving an operating room surgery scheduling problem. *Computers & Industrial Engineering*, 85, 335-345.
- Zhang, W., Cao, K., Liu, S., & Huang, B. (2016). A multi-objective optimization approach for health-care facility location-allocation problems in highly developed cities such as Hong Kong. *Computers, Environment and Urban Systems*, 59, 220-230.