E-ISSN: 2676-6159 | P-ISSN: 2538-5079

Journal of Decisions and Operations Research

www.journal-dmor.ir

J. Decis. Oper. Res. Vol. 8, No. 2 (2023) 478–491.

Paper Type: Original Article

An Agent-Based Model of Patient Flow to Improve Operating Room Efficiency

Seyedeh Raahil Mousavi[1,*], Mohammad Mehdi Sepehri[2], Seyed Esmaeil Najafi[1]

[1] *Department of Industrial Engineering, Science and Research Branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran; raahil.mousavi@yahoo.com; najafi1515@yahoo.com.*

[2] *Department of Industrial Engineering, Faculty of Industrial and Systems Engineering, Tarbiat Modares University, Tehran, Iran; mehdi.sepehri50@gmail.com.*

Citation:

Mousavi, S. R., Sepehri, M. M., & Najafi, S. E. (2023). An agent-based model of patient flow to improve operating room efficiency. *Journal of decisions and operations research, 8*(1), 478-491.

Received: 24/02/2022 Reviewed: 22/03/2022 Revised: 14/04/2022 Accepted: 21/05/2022

Abstract

Purpose: High efficiency in the operating room may significantly improve the overall performance of the hospital and the service quality provided to patients. The operating room is the de facto financial hub of the hospital and maximizing its efficiency may lead to considerable improvements. To this end, we seek ways of accelerating the patient flow in order to save time and cost in healthcare facilities.

Methodology: In this study, we use agent-based simulation to simulate patient care in the operating room. After performing the required validations, a number of improvement scenarios were developed and evaluated.

Findings: A hybrid scenario including modifications to the referral time of the patient by the surgeon, transfer time of the surgical set and supplies to the operating room, and the timing of anesthesia proved to have the most positive impact on the criteria i.e. activities, reducing the average Length of Stay (LOS) by 9.69 minutes. The second-most effective scenario involved modifying the referral time of the patient by the surgeon, reduced the LOS by 7.31 minutes.

Originality/Value: Through this research, it became apparent that minimizing the patients' LOS improves the efficiency of the operating room as it helps reduce the overall idle time and increases the number of operations carried out in each shift. Making time even for one additional operation per day significantly increases the operating room income. Moreover, a shorter LOS means less fatigue for the medical staff and reduces the total cost of running the operating room by reducing the staff's overtime hours.

Keywords: Operating room, Length of stay, Patient flow, Agent based simulation.

Corresponding Author: raahil.mousavi@yahoo.com http://dorl.net/dor/20.1001.1.25385097.1402.8.2.11.5

Licensee. **Journal of Decisions and Operations Research**. This article is an open access article distributed under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution (CC BY) license (http://creativecommons.org/licenses/by/4.0).

Journal of Decisions and Operations Research

تصمیم‌گیری و تحقیق در عملیات

دوره ۸، شماره (۲)، (۱۴۰۲)، ۴۹۱-۴۷۸

www.journal-dmor.ir

نوع مقاله: پژوهشی

ارایه مدل عامل بنیان جریان بیمار جهت افزایش کارایی اتاق عمل

سیده راحیل موسوی[۱*]، محمدمهدی سپهری[۲]، سید اسماعیل نجفی[۱]

[۱]گروه مهندسی صنایع، واحد علوم و تحقیقات، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران.

[۲]گروه مهندسی صنایع، دانشکده مهندسی صنایع و سیستم‌ها، دانشگاه تربیت مدرس، تهران، ایران.

چکیده

هدف: عملکرد خوب و کارایی بالای اتاق عمل نقش مهمی در بهبود بیمارستان‌ها و کیفیت خدمات ارایه‌شده به بیماران دارد. اتاق عمل مرکز مالی هر بیمارستان است و حداکثر کارایی آن، پیامدهای مهمی به همراه دارد. در همین راستا به دنبال تسریع روند جریان بیمار هستیم که باعث صرفه‌جویی در زمان و در نتیجه بهبود هزینه می‌شود.

روش‌شناسی پژوهش: در این پژوهش از شبیه‌سازی عامل بنیان برای شبیه‌سازی فرآیند بیمار در اتاق عمل استفاده شد. پس از اعتبارسنجی، سناریوهای بهبود تعریف و بررسی شدند.

یافته‌ها: سناریوی ترکیبی شامل تغییر زمان‌بندی فراخوان بیمار توسط جراح و کاهش زمان انتقال لوازم مصرفی و ست جراحی به اتاق عمل و زمان بیهوش کردن بیمار بیش‌ترین تاثیر مثبت را بر تمامی اقدامات داشته و طول اقامت بیمار را ۹/۶۹ دقیقه کاهش داده است و بعد از آن سناریوی تغییر زمان فراخوان بیمار توسط جراح با کاهش ۷/۳۱ دقیقه طول اقامت بیمار، جزو سناریوهای موثر بوده است.

اصالت/ارزش افزوده علمی: در پژوهش حاضر دریافتیم که با کاهش طول اقامت بیمار می‌توانیم کارایی اتاق عمل را افزایش دهیم، زیرا زمان هدررفته اتاق عمل کاهش پیدا کرده و تعداد عمل‌های یک شیفت افزایش پیدا می‌کند و با انجام حتی یک عمل بیش‌تر در روز درآمد اتاق عمل به مقدار قابل توجهی افزایش می‌یابد.کاهش طول اقامت بیمار باعث کاهش خستگی پرسنل و هم‌چنین کاهش هزینه‌های اتاق عمل (به دلیل عدم اضافه‌کاری کارکنان) نیز می‌شود.

کلیدواژه‌ها: اتاق عمل، جریان بیمار، شبیه‌سازی عامل بنیان، طول اقامت بیمار.

۱- مقدمه

امروزه تغییر در شیوه زندگی، ساختار فرهنگی و اجتماعی، نیازهای پزشکی و سلامت مردم و رشد سریع جمعیت، مساله عرضه امکانات و خدمات بهداشتی و درمانی را با مشکلات و موانع جدی روبرو ساخته است. افزایش سریع و روزافزون هزینه‌های خدمات درمانی به حدی است که چگونگی کنترل این هزینه‌ها، مشکل اصلی سیستم‌های بهداشت و درمان در کشورهای مختلف، حتی کشورهای ثروتمند جهان است [1].

* نویسنده مسئول

raahil.mousavi@yahoo.com

http://dorl.net/dor/20.1001.1.25385097.1402.8.2.11.5

در سال‌های اخیر برنامه‌ریزی اتاق عمل به تدریج به جزو مهمی در مدیریت بیمارستان تبدیل شده است. برای اکثر مراکز درمانی، عملکرد خوب و کارایی بالای اتاق عمل نقش مهمی در بهبود بیمارستان‌ها و کیفیت خدمات ارایه‌شده به بیماران دارد. اتاق عمل مرکز مالی هر بیمارستان است و حداکثر کارایی آن، پیامدهای مهمی از جمله صرفه‌جویی در هزینه، رضایت بیمار و روحیه تیم پزشکی را به همراه دارد. اتاق عمل به موتور بیمارستان معروف است و معمولا ۷۰% تمام پذیرش‌های بیمارستان را شامل می‌شود [2]. فعالیت‌های اتاق عمل تاثیر قابل‌توجهی برروی سایر بخش‌ها و در نتیجه عملکرد کل بیمارستان دارد. اتاق عمل محرک مالی بیمارستان مدرن است که تا ۴۰% از هزینه‌های بیمارستان و ۶۰% تا ۷۰% درآمد را شامل می شود [3].

تاخیرهای زمانی پرسنل، جراح و بیمار هزینه‌هایی را به همراه دارد و بهبود جریان بیمار سبب صرفه‌جویی در زمان و در نتیجه بهبود هزینه می‌شود. تاخیرات زمانی ناشی از ضعف‌های سیستمی و فرآیندی می‌باشد. بررسی‌های انجام‌شده در بیمارستان مورد مطالعه، نشان داد که هزینه‌های اتاق عمل بالا و در مقابل، میزان درآمد حاصل از آن بسیار پایین است و این امر ضرورت انجام تحقیق حاضر را دوچندان می‌کند. هدف از این مقاله کاهش زمان‌های ازدست‌رفته با بهینه‌سازی جریان بیمار جهت افزایش کارایی اتاق عمل می‌باشد.

۱-۱- برنامه‌ریزی و زمان‌بندی اتاق عمل

فرآیندهای برنامه‌ریزی اتاق عمل از نظر رویه‌ها و منابع درگیر بسیار پیچیده و به خصوص گران هستند. معمولا مدیران بیمارستان برای دستیابی به اهداف متناقضی مانند کارایی، انتظار تیمی، بیکار بودن، اضافه کار، کیفیت مراقبت و کیفیت کار تلاش می‌کنند، زیرا باید بدانند که دستیابی به همه کارها بسیار دشوار یا گاهی غیرممکن است. این جنبه می‌تواند توضیح دهد که چرا انتظار، تاخیر و لغو در فعالیت‌های *OR* اغلب ذاتی به نظر می‌رسد. رمز موفقیت در یک مدیریت موفقیت آمیز در تامین بهترین نگرانی‌های فوق‌الذکر است [4].

۱-۲- مدت اقامت بیمار[1]

مدت اقامت اصطلاحی است که توسط *NHS* به عنوان مدت یک دوره مراقبت در بیماران بستری تعریف می‌شود که از روز بستری تا روز ترخیص محاسبه و براساس تعداد شب‌هایی است که در بیمارستان سپری می‌شود. بیمارانی که در همان روز بستری و مرخص می‌شوند مدت اقامت آن‌ها کم‌تر از یک روز است [5]. مدت اقامت بیمار در اتاق عمل از زمان ورود بیمار به اتاق عمل تا زمان خروج از ریکاوری درنظر گرفته می‌شود.

۱-۳- مدل‌سازی عامل بنیان

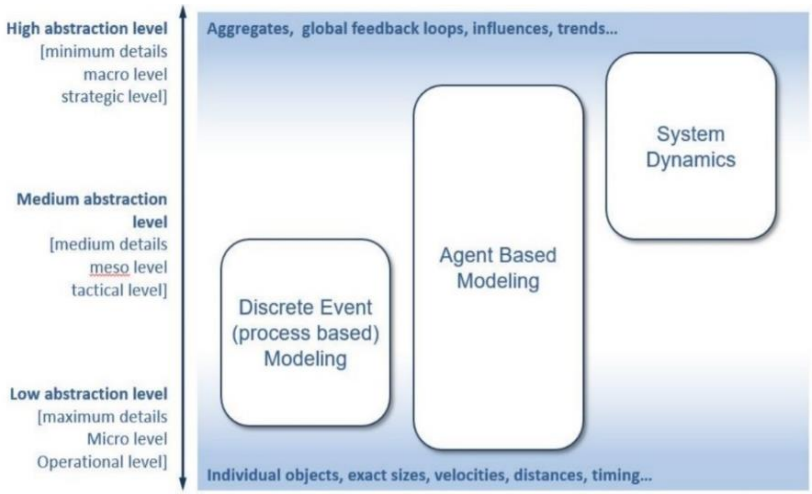
به صورت کلی سه رویکرد شبیه‌سازی وجود دارد (**شکل ۱**)؛ گسسته پیشامد، سیستم‌های پویا و عامل بنیان. اگر مساله مورد بررسی نیاز داشته باشد که جزییات کمی در نظر گرفته شود، از رویکرد سیستم‌های پویا استفاده می‌شود؛ ولی در صورتی که مساله مورد بررسی (مانند مساله این تحقیق) نیاز به درنظر گرفتن جزییات زیادی داشته باشد، از رویکردهای گسسته پیشامد یا عامل بنیان استفاده می‌شود.

رویکرد گسسته پیشامد از بالا به پایین است؛ یعنی ابتدا کل مساله در سطح کلان باید شناخته و بررسی شود و لایه‌لایه به سمت پایین حرکت کرد تا در نهایت مدل شبیه‌سازی ایجاد شود. اجزای شبیه‌سازی گسسته پیشامد *Passive* هستند. برخلاف این روش، رویکرد عامل بنیان از سطح خرد به سمت کلان حرکت می‌کند و عامل‌ها کاملا *active* هستند. به همین دلیل سطح جزییات و پیچیدگی‌های بسیار بیش‌تری را با استفاده از مدل‌سازی عامل بنیان، می‌توان در مدل شبیه‌سازی مد نظر قرار داد. نکته دیگری که باید در نظر گرفت، مقیاس‌پذیری بیش‌تر مدل‌های عامل بنیان نسبت به مدل‌های گسسته پیشامد است. در مدل‌های عامل بنیان به راحتی می‌توان ابعاد مساله را بزرگ‌تر نمود و همین مساله بکارگیری مدل شبیه‌سازی در سیستم‌های دیگر درمانی را تسهیل می‌کند [5].

[1] Length of Stay (LOS)

در مساله این تحقیق به دلیل پیچیدگی‌های موجود در سیستم‌های درمان، نیاز به حافظه داشتن عامل‌ها و *active* بودن و ضرورت تعامل آن‌ها وجود داشت. به همین دلیل از مدل‌سازی عامل بنیان بهره گرفته شده است.

برخلاف سایر رویکردهای مدل‌سازی، تمرکز اصلی مدل‌سازی و شبیه‌سازی عامل بنیان، بر عامل‌ها یا موجودیت‌های مجزایی است که دارای ویژگی‌ها و رفتارهای فردی خاص خود هستند. ویژگی اصلی یک عامل، رفتار مستقل آن است. یک عامل دارای هدف بوده و قادر است که اقدامات مستقلی را اتخاذ کند که وی را قادر به بقا در جهت دستیابی به اهداف می‌سازد. مدل‌سازی و شبیه‌سازی عامل بنیان (*ABMS*) ریشه‌هایی قوی در سیستم‌های چندعاملی (*MAS*)، هوش مصنوعی (*AI*) و رباتیک دارد. اما *ABMS* محدود به طراحی و شناخت عامل‌های مصنوعی نیست، بلکه هم‌چنین ریشه‌هایی در مدل‌سازی رفتار واقعی انسان و تصمیم‌گیری فردی دارد. نیاز به بروز تعاملات اجتماعی، همکاری و رفتار گروهی نیز از اینجا ناشی می‌شود. رویکرد عامل بنیان افراد را قادر می‌سازد تا به مساله مدل‌سازی، از نقطه نظر افراد تشکیل‌دهنده سیستم نگاه کنند و رفتارها و قواعد تصمیم‌گیری آن‌ها را در نظر بگیرند [6].



شکل ۱- تفاوت انواع شبیه‌سازی.

Figure 1- Differences in simulation types.

اجزای اصلی یک مدل عامل بنیان عبارتند از عامل‌ها[1]، محیط و تعاملات. مائس [7] عامل را به این صورت تعریف می‌کند: «یک عامل، سیستمی است که مجموعه‌ای از اهداف را در یک محیط پیچیده و پویا برآورده می‌سازد». محیط‌ها فضاهایی هستند که عامل‌ها در آن عمل می‌کنند و با سایر عامل‌ها و محیط در تعامل هستند. جزو بعدی، تعاملات هستند. تعاملات به دو نوع کلی تقسیم می‌شوند: تعاملات عامل با عامل و تعاملات عامل با محیط [8].

با مرور پژوهش‌های صورت‌گرفته و عارضه‌یابی اتاق عمل بیمارستان مورد مطالعه، به دنبال افزایش کارایی اتاق عمل مورد نظر به‌وسیله کاهش طول اقامت بیمار هستیم. در ادامه بعد از پیشینه تحقیق، به روش انجام پژوهش می‌پردازیم که در آن به عامل‌ها و شرایط آن‌ها، شرح مدل و فرآیند اتاق عمل اشاره خواهد شد. در بخش ۴ نتایج پیاده‌سازی مدل، اعتبارسنجی مدل و سناریوها را خواهیم داشت و در پایان، نتیجه‌گیری ارایه خواهد شد.

۲- پیشینه تحقیق

بهبود جریان اتاق عمل، باعث صرفه‌جویی در هزینه‌ها می‌شود. از طرفی کاهش طول اقامت بیمار در اتاق عمل نیز هزینه‌ها را کاهش می‌دهد. پژوهشگران فراوانی به مطالعه زمان‌بندی اتاق عمل پرداخته‌اند که در ادامه به برخی از آن‌ها اشاره شده است.

[1] Agents

سانتی‌بانز و همکاران [9] مطالعاتی بر روی مدیریت منابع جراحی‌های متفاوت و لیست انتظار اتاق عمل، با بررسی ارتباط بین در دسترس‌بودن اتاق جراحی، ظرفیت تخت، جراحان در دسترس و لیست انتظار بیمار انجام دادند. نتایج نشان می‌دهد که بدون افزایش منابع پس از جراحی، بیمارستان‌ها می‌توانند با برنامه‌ریزی‌های مختلف تخصص متفاوت را اداره کنند.

لاتور-نانز و همکاران [10] در پژوهش خود بطور همزمان به بررسی اتاق‌های عمل، بهبود عملکرد پس از بیهوشی، منابع مورد نیاز جراحی و ورود احتمالی جراحی‌های اورژانسی پرداختند و یک مدل برنامه‌ریزی خطی برای برنامه‌ریزی اتاق عمل ارایه نمودند. این مدل را با استفاده از الگوریتم ژنتیک و مدل‌های فراابتکاری حل نمودند.

گایدو و همکاران [4] در مقاله‌ی خود یک مدل برنامه‌ریزی خطی چندهدفه‌ای را پیشنهاد دادند که هدف آن برنامه‌ریزی و مدیریت اتاق عمل بیمارستان است. آن‌ها از یک راه حل جدید ژنتیک هیبرید، مدل بهینه‌سازی طراحی کردند که قادر به تعیین ۱- زمان اتاق عمل اختصاص داده‌شده به هر تخصص جراحی، ۲- زمان اتاق عمل اختصاص داده‌شده به هر تیم جراحی، ۳- برنامه‌ریزی پذیرش جراحی و ۴- برنامه‌ریزی جراحی می‌باشد. این مدل یک چهارچوب پیشنهادی برای بهبود برنامه‌ریزی اتاق عمل ارایه می‌کند.

ساگنول و همکاران [11] عدم قطعیت را هم در زمان‌های اعمال جراحی و هم در ورود بیماران اورژانسی در نظر گرفتند و مساله را با استفاده از برنامه‌ریزی احتمالی چندمرحله‌ای مدل و با استفاده از روش صفحه برشی حل کردند.

فایرلی و همکاران [12] یک روش بهینه‌سازی عمومی و روش یادگیری ماشین را برای تسهیل عمل‌های اتاق عمل ایجاد کردند تا تاخیر ناشی از عدم دسترسی *PACU* به حداقل برسد. به طور خاص، از یادگیری ماشین برای تخمین زمان *PACU* مورد نیاز برای هر نوع عمل جراحی استفاده شد و دو مدل برنامه‌ریزی عددی را برای برنامه‌ریزی در اتاق‌های جراحی برای به حداقل رساندن حداکثر اشغال *PACU*، و از شبیه‌سازی رویداد گسسته برای مقایسه سناریوها انتخاب برنامه‌ریزی بهینه استفاده شد.

نادری و همکاران [13] در مطالعه‌ی خود با در نظر گرفتن تاریخ سررسید بیماران، واجد شرایط بودن منابع، عملکرد ناهمگون منابع، الزامات واحد پایین دستی و زمان تاخیر بین منابع به‌دنبال افزایش ظرفیت جراحی بدون منابع اضافی (حداقل کردن هزینه‌های ثابت و اضافی) بودند.

پارک و همکاران [14] در مطالعه‌ی خود الگوریتمی با هدف به حداقل رساندن تعداد اتاق عمل‌های استفاده شده و اضافه کاری پیشنهاد دادند. آن‌ها پس از پیاده‌سازی الگوریتم پیشنهادی، اثربخشی آن را در ایجاد زمان‌بندی‌های بهتر نسبت به برنامه‌هایی که به‌طور دستی توسط مدیر بیمارستان یا با استفاده از حل‌کننده‌های تجاری به‌صورت ریاضی تولید می‌شدند، نشان دادند.

مغذی و همکاران [15] یک مدل ریاضی چندهدفه را با یک طبقه‌بندی جدید (قبل از عمل، حین عمل و بعد از عمل) ارایه کردند تا زمان‌بندی اتاق عمل و ریسک استفاده از تجهیزات را به حداقل برساند. سپس دو الگوریتم فراابتکاری *NRGA* و *NSGA-II* را بر روی مدل ریاضی برای تحلیل مدل پیشنهادی پیاده‌سازی کردند و دریافتند که *NSGA-II* در مساله زمان‌بندی اتاق عمل کارآمدتر است.

لی و همکاران [16] رویکردی بهینه برای برنامه‌ریزی اتاق عمل برای جراحی‌های اورژانسی با در نظر گرفتن اولویت جراحی‌ها ارایه کردند. مدل بهینه‌سازی با هدف به حداقل رساندن هزینه‌های مرتبط با جراحی‌های انتخابی و اورژانسی و به حداکثر رساندن تعداد جراحی‌های برنامه‌ریزی شده بود. آن‌ها در مطالعه خود از شبیه‌سازی ترکیبی و الگوریتم بهینه‌سازی گرگ خاکستری (*GWO*) برای حل مدل بهینه‌سازی در سناریوهای مختلف استفاده کرده و نشان دادند که افزایش پارامترهای ریسک در مدل بهینه‌سازی، هزینه‌های سیستم را افزایش می‌دهد.

ملیانا و همکاران [17] یک مدل برنامه‌ریزی خطی عدد صحیح مختلط را برای حل مشکل زمان‌بندی اتاق عمل پیشنهاد کردند. براساس آن، یک سیستم پشتیبانی تصمیم را توسعه دادند تا به بیمارستان اجازه دهد برنامه بهتری با زمان کوتاه‌تر تولید کند. هم‌چنین تغییرات مدت زمان جراحی و تعداد دستگاه‌های بیهوشی موجود بر روی خروجی مدل تاثیر بسزایی داشت.

برخی تحقیقات برروی جریان بیمار در جهت بهبود شاخص‌هایی صورت گرفته است، از جمله مدت اقامت بیمار (*LOS*)، زمان بین دو عمل جراحی (*TOT*)، زمان شروع اولین عمل و زمان انتظار.

مرکزی مقدم و همکاران [18] در یک مطالعه برروی کاهش مدت اقامت بیمار کار کردند. آن‌ها داده‌های ۶۲۲ بیمار تحت عمل جراحی انتخابی جمع‌آوری و زمان ورود و خروج به اتاق عمل و هم‌چنین زمان‌های شروع و پایان هر عمل جراحی و بیهوشی را اندازه گیری کردند. سپس از روش‌های آماری، یادگیری ماشین برای کشف داده‌های زمانی برای ۷ دسته جراحی استفاده شد. مدت زمان جراحی برای جراحی‌های چشم و ارولوژی، جراحی مغز و اعصاب و جراحی پلاستیک، بیش‌ترین درصد اقامت را تشکیل می‌دهند. آن‌ها به این نتیجه رسیدند که از تفاوت در نوع جراحی و زمان بهبودی می‌توان برای جلوگیری از راکد بودن جریان بیمار در برنامه‌ریزی روزانه اتاق عمل استفاده کرد. طبقه‌بندی دقیق (که شامل مشخصات بیمار و متغیرهای جراحی است)، کارکنان را قادر می‌سازد بیماران با اقامت طولانی‌مدت در سالن اتاق عمل را تشخیص دهند.

کریمی و همکاران [19] در مطالعه خود مساله جریان بیمار در بیمارستان چشم را بررسی کردند. با تعریف سه سناریو و استفاده از شبیه‌سازی توانستند راه حل خوبی برای کاهش طول اقامت بیمار در بیمارستان ارایه دهند. شبیه‌سازی‌ها نشان داد که سناریوهای تغییر سیاست، *LOS* را بسیار بیش‌تر از سناریوهای افزایش منابع، کاهش می‌دهد. این بینش مدیریتی بسیار مهمی است، زیرا نشان می‌دهد که استفاده از منابع به روشی کارا، کارایی سیستم را بیش از (صرفا) افزایش تعداد منابع می‌تواند افزایش دهد.

اسکندری و بهرامی [20] مساله زمان‌بندی اتاق عمل را با استفاده از رویکرد بهینه‌سازی مبتنی بر شبیه‌سازی با هدف کمینه‌کردن هزینه‌های اضافه‌کاری و خالی‌ماندن اتاق‌های عمل و کمینه‌کردن روزهای انتظار بیماران برای جراحی بررسی کردند. آن‌ها از دو الگوریتم *NSGA-II* و *FastPGA* که روش‌های چندهدفه مبتنی بر قواعد ژنتیک تک‌هدفه است، برای ترکیب شبیه‌سازی استفاده کرده و عملکرد آن‌ها را با مدل ریاضی و با یکدیگر مقایسه کردند.

ایمانی و همکاران [21] برروی زمان‌بندی روزانه اتاق‌های عمل در شرایط عدم قطعیت مطالعه کردند. از ترکیب الگوریتم مورچگان دوسطحی با شبیه‌سازی استفاده و مجموع زمان بیکاری و اضافه‌کاری اتاق‌های عمل در شرایط عدم قطعیت در مدت‌زمان عمل‌های جراحی را کاهش دادند.

زیانگ و همکاران [22] سه مرحله فرآیند جراحی را در حالت قطعی در نظر گرفتند و پس از ارایه مدل برنامه‌ریزی عدد صحیح مختلط برای مساله، الگوریتم فراابتکاری *ACO* را برای حل آن توسعه دادند. در دنیای واقعی، عدم قطعیت‌های مختلفی در فرآیند زمان‌بندی اتاق‌های عمل وجود دارد.

لیانگ و همکاران [21] به زمان‌بندی اتاق‌های عمل با استفاده از این رویکرد پرداختند و فقط مرحله انجام عمل جراحی را در نظر گرفتند. آن‌ها برنامه زمان‌بندی را براساس ترکیبی از سه قانون زمان‌بندی ساده، یعنی کوتاه‌ترین زمان پردازش، نرخ بحرانی و خدمت به ترتیب ورود، ارایه کردند. با استفاده از روش سطح پاسخ، وزن‌های بهینه هر کدام از قوانین به دست آمده است. نتایج برای بهبود مدل شبیه‌سازی داده شده است. در نهایت جواب‌های به‌دست آمده از رویکرد ترکیبی را با الگوریتم جست‌وجوی ممنوعه (*TS*) مقایسه کردند.

در **جدول ۱** به خلاصه‌ای از مطالعات صورت‌گرفته در اتاق عمل اشاره شده است. از شبیه‌سازی عامل بنیان در پژوهش حاضر استفاده شده است. در این خصوص مطالعاتی در سال‌های اخیر صورت گرفته است که در ادامه به برخی از آن‌ها چه در حوزه مطالعات اقتصادی و اجتماعی و چه در حوزه سلامت (**جدول ۲**) اشاره می‌شود.

عباسی سیر و همکاران [23] با شبیه‌سازی عامل بنیان رفتار خرید آنی مصرف‌کنندگان (مشتریان) و با در نظر گرفتن عامل‌های تخفیف، زمان مطلوب حضور مشتری در خرید از سوی مدیر فروشگاه را مشخص کردند.

ابوالفتحی و همکاران [24] پژوهشی با هدف شناخت و معرفی روشی برای بهبود انتشار نوآوری با استفاده از مدل سازی عامل بنیان انجام دادند.

جدول ۱- مروری بر مطالعات انجام شده بر جریان بیمار در اتاق عمل.

Table 1- The review of studies on patient flow in the OR.

ردیف	نویسنده (سال)	هدف	روش‌ها و راه‌حل	مطالعه موردی
1	ریسی و همکاران [25]	عوامل موثر بر تاخیر در جراحی و طول مدت اقامت	رگرسیون خطی	اتاق عمل
2	سادولی و همکاران [26]	حداکثر کردن زمان استفاده از اتاق عمل	شبیه‌سازی گسسته پیشامد	اتاق عمل
3	لاندا و همکاران [27]	به حداقل رساندن اضافه کاری/ به حداقل رساندن تعداد بلوک‌های استفاده شده	شبیه‌سازی مونت کارلو	اتاق عمل
4	پرسان و همکاران [28]	کاهش زمان انتظار جراحی برای بیماران بستری ارتوپدی غیر انتخابی	شبیه‌سازی گسسته پیشامد	اتاق عمل
5	پرسان و همکاران [28]	کاهش زمان انتظار جراحی برای بیماران بستری ارتوپدی غیر انتخابی	شبیه‌سازی عامل بنیان	اتاق عمل
6	اتر و همکاران [29]	تحلیل مقایسه‌ای مدت زمان بستری و وضعیت ترخیص از بیمارستان	آنالیز آماری	اتاق عمل
7	بندری و همکاران [30]	کاهش مدت اقامت قبل از عمل	آنالیز آماری	اتاق عمل
8	لیونز و همکاران [31]	کاهش مدت اقامت	آنالیز آماری	اتاق عمل
9	بویلن و همکاران [32]	کاهش مدت اقامت		اتاق عمل
10	خاشا و همکاران [33]	به حداقل رساندن مدت اقامت بیماران	شبیه‌سازی گسسته پیشامد	اتاق عمل
11	لی و همکاران [34]	بهبود کارایی اتاق عمل	۶ سیگما و روش ناب	اتاق عمل
12	سعیدیان و همکاران [35]	مدل‌سازی ارکستراسیون منابع اتاق عمل، کاهش زمان انتظار	شبیه‌سازی عامل بنیان	اتاق عمل
13	مرکزی مقدم و همکاران [18]	ارزیابی جریان بیمار در اتاق عمل. مدت اقامت	آنالیز آماری، یادگیری ماشین	اتاق عمل
14	کریمی و همکاران [19]	کاهش مدت اقامت بیماران تحت عمل جراحی آب مروارید	شبیه‌سازی گسسته پیشامد	اتاق عمل

جدول ۲- مروری بر مطالعات انجام شده شبیه‌سازی عامل بنیان در حوزه سلامت [36].

Table 2- A review of studies based on factor-based simulation in the field of health [36].

ردیف	مقاله	روش شبیه‌سازی: شبیه‌سازی گسسته پیشامد	روش شبیه‌سازی: شبیه‌سازی عامل بنیان	روش شبیه‌سازی: سیستم دینامیکی	نرم‌افزار مورد استفاده	هدف
1	روهلدر و همکاران [37]	x			Arena	بهبود جریان بیمار در یک کلینیک ارتوپدی سرپایی
2	پائول و لین [38]	x			ProModel	بهبود توان عملیاتی بیمار و انتظار در بخش اورژانس بیمارستان
3	جین و همکاران [39]	x			FlexSim Healthcare	کاهش زمان انتظار برای مشاوره در کلینیک چشم سرپایی
4	کدری و همکاران [40]	x			Arena	سیستم پشتیبان برای پیشگیری و پیش‌بینی شرایط کرنش در بخش اورژانس
5	لاسکوزکی و همکاران [41]		x		C++ programming and using Qt4 API	ارزیابی سیاست‌های انحراف بیمار برای بخش‌های اورژانس
6	وانگ [42]		x		NetLogo	گردش کار در اورژانس
7	وانگ و همکاران [43]		x		Repast agent-based simulation toolkit	ارزیابی سیاست‌های واکنش اضطراری به یک حادثه تلفات جمعی
8	کابرنا و همکاران [44]		x		NetLogo	بهینه‌سازی پیکربندی کارکنان بخش اورژانس
9	سنتنو و همکاران [45]		x		Not mentioned	مطالعه مسایل مختلف بخش اورژانس
10	تابوادا و همکاران [46]		x		NetLogo	تجزیه و تحلیل تاثیر سیاست‌های مختلف بر بخش اورژانس
11	بهر و همکاران [47]			x	Vensim	بررسی اثرات استفاده از بخش اورژانس غیر اضطراری

جدول ۲- ادامه.

Table 2- Continued.

ردیف	مقاله	روش شبیه‌سازی: شبیه‌سازی گسسته پیشامد	شبیه‌سازی عامل بنیان	سیستم دینامیکی	نرم‌افزار مورد استفاده	هدف
12	فائزپور و همکاران [48]			x	Not mentioned	بررسی عوامل پیچیده و روابط مرتبط با رضایت بیمار
13	لیم و همکاران [49]	x	x		Arena	مدل‌سازی تعامل بین پزشکان و نمایندگان در بخش اورژانس
14	روهلدر و همکاران [50]	x		x	Arena - Vensim	بازطراحی و اجرای مراکز خدمات رسانی به بیماران
15	ریوتریا و همکاران [51]	x		x	Not mentioned	ساخت یک مدل منعطف و کلی برای عملیات پیچیده مراقبت‌های بهداشتی
16	زولکپلی و همکاران [52]	x		x	Simul8 - Vensim	مدل‌سازی سیستم مراقبت یکپارچه
17	جاناتلیف و همکاران [53]		x	x	AnyLogic	مطالعه اثرات یک نوآوری جدید مراقبت‌های بهداشتی
18	آناگنوستو و همکاران [54]	x	x		Repast Simphony toolkit, using poRTIco RTI	خدمات آمبولانس و خدمات حوادث و اورژانس A&E
19	احمد و همکاران [55]	x		x	AnyLogic	مدل‌سازی بخش اورژانس
20	ویانا و همکاران [56]	x		x	Simul8 - Vensim	روند عفونت کلامیدیا و یک کلینیک سرپایی بیمارستان
21	زکریا و همکاران [42]			x	Not mentioned	مدل‌سازی رابطه بین اتاق عمل و سایر بخش‌های بیمارستان
22	سانگ و گو [57]		x		Not Mentioned	مدل‌سازی سیستم بیمارستانی، مشخصات مدل رفتار بیمار براساس مسیر بالینی
23	خاشا و همکاران [33]	x	x		Not mentioned	ارزیابی راهبردهای سریع برای کاهش زمان انتظار در بخش اورژانس بیمارستان
24	کالتون و همکاران [58]		x		Not mentioned	مدل‌سازی معرفی قابلیت‌های هماهنگی مراقبت در یک سیستم پیچیده مراقبت از بیماران مبتلا به بیماری‌های روانی جدی و پایدار
25	سعیدیان و همکاران [35]		x		Netlogo	مدل‌سازی ارکستراسیون منابع اتاق عمل

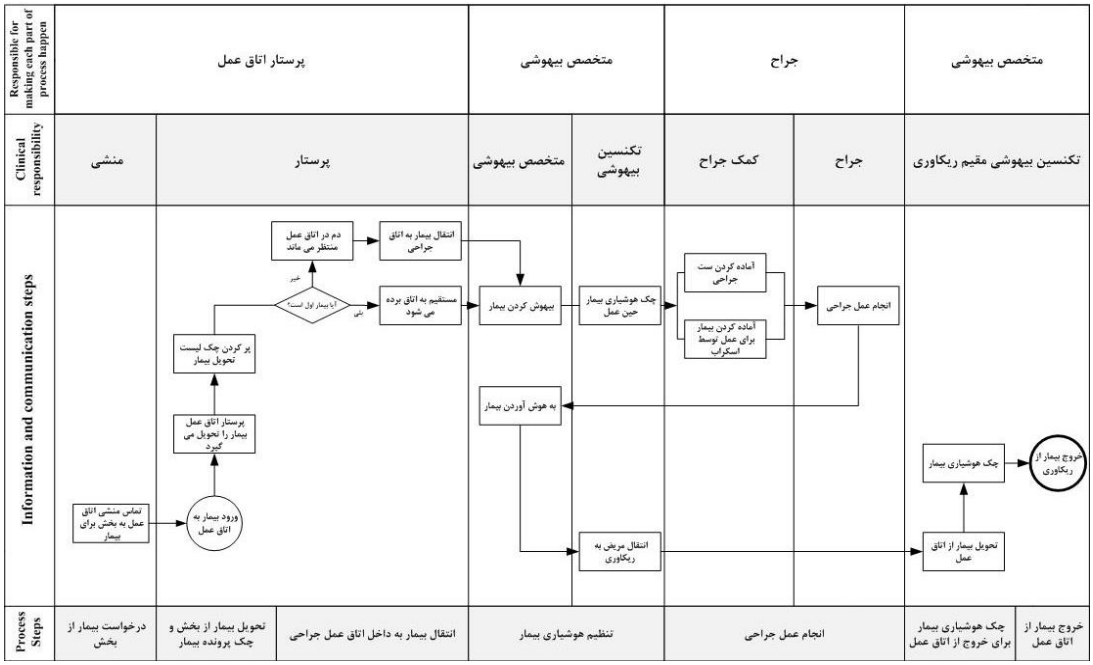
پژوهش حاضر برای کاهش طول اقامت بیمار در اتاق عمل، پنج شاخص جدید تعریف و با دقت در انتخاب عامل‌ها، مقدار بهینه آن‌ها را به‌صورت همزمان بدست می‌آورد.

۳- روش تحقیق

مطالعه موردی پژوهش حاضر اتاق عمل جنرال یک بیمارستان فوق تخصصی در شهر تهران می‌باشد. برای آشنایی با اتاق عمل و شناخت سیستم موجود، حدود یک سال با حضور در آن‌جا به مشاهده پرداخته شد. جانمایی‌ها، تعداد پرسنل، وظایف پرسنل‌های خدماتی و بالینی، جراحان، متخصصان بیهوشی و پرستارها مشاهده و ثبت شد.

مصاحبه‌های زیادی با جراحان، متخصصان بیهوشی و بقیه پرسنل بالینی و خدماتی صورت گرفت. براساس مشاهدات و مصاحبه‌ها سیستم اتاق عمل عارضه‌یابی شد. از بین مشکلاتی که در سیستم وجود داشت، به بررسی عارضه‌ای پرداخته شد که برای رییس اتاق عمل و مدیریت بیمارستان اهمیت بیش‌تری داشت؛ کاهش طول اقامت بیمار در اتاق عمل. دلیل اهمیت این مساله برای اتاق عمل، افزایش رضایت بیمار، افزایش تعداد عمل‌ها در یک شیفت و در نتیجه آن افزایش درآمد اتاق عمل و افزایش بازده عملکرد پرسنل می‌باشد.

پس از تعریف مساله تحقیق، جریان بیمار در اتاق عمل ترسیم شد (**شکل ۲**). درسطح زیرین شکل، مراحل فعالیت، سطح دوم؛ مراحل اطلاعات و ارتباطات، سطح سوم؛ مسئول بالینی هر فعالیت و بالاترین سطح نشان می‌دهد اگر اتفاقی در این فعالیت رخ دهد مسئولیت حقوقی با چه کسی است؟ این شکل که به آن نقشه فعالیت[1] هم گفته می‌شود برای اتاق عمل جنرال بیمارستان مورد مطالعه ارایه شد.



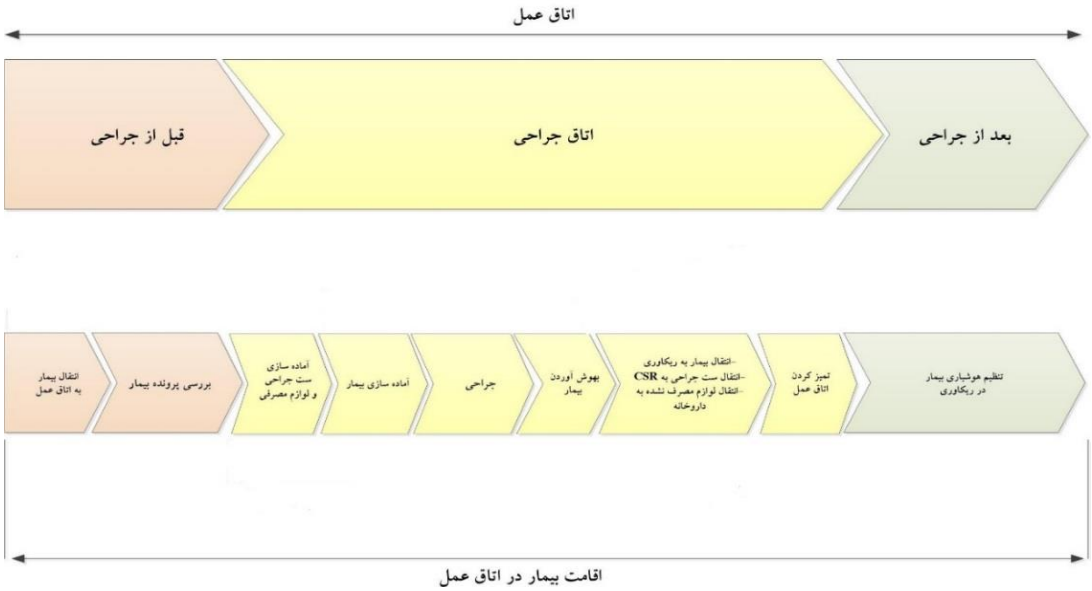
شکل ۲- جریان بیمار در اتاق عمل.

Figure 2- Patient flow in operating room.

۱-۳- فرآیندهای اتاق عمل

مدل مفهومی این پژوهش، برگرفته از سیستم واقعی می‌باشد. فرآیندهای اتاق عمل به سه دسته تقسیم می شوند: قبل از عمل، عمل و بعد از عمل. **شکل ۳**، سه مرحله از فرآیند اتاق عمل را نشان می‌دهد. با توجه به اتاق عمل بیمارستان تخصصی مورد مطالعه، فعالیت‌های هر مرحله را استخراج شد.

با استفاده از شبیه‌سازی عامل بنیان در نرم‌افزار *AnyLogic* فرآیند بیمار را مدل‌سازی کردیم.



شکل ۳- تقابل زمان و فرآیند.

Figure 3- Cross-process time.

[1] Process map

۳-۲- قوانین و شرایط agents مدل

عامل‌ها از قوانین و شرایط زیر پیروی می‌کنند:

۱. هر بیمار برای دریافت خدمات می‌تواند هر لحظه فقط در یک مکان باشد.
۲. هر پرسنل بالینی می‌تواند هر بار فقط به یک بیمار خدمت کند و تا پایان خدمت مشغول شود.
۳. بیمار تا زمانی که عوامل خدمت مشغول نباشند، در یک صف قرار می‌گیرد.
٤. اولین بیمار اتاق عمل در صف قرار نمی‌گیرد.
۵. بیماران اورژانسی نداریم.
٦. در بیمارستان تخصصی مورد مطالعه، ما دو اتاق عمل با تجهیزات مشابه برای جراحی *Hernia* در نظر گرفته‌ایم.

۳-۳- شرح مدل

در مدل، هر عامل با ویژگی‌های منحصر به فرد در یک مکان خاص تعریف می‌شود و عوامل با یکدیگر ارتباط برقرار می‌کنند. با ورود بیمار به اتاق عمل، جریان بیمار را مدل شد. از بین جراحی‌های عمومی، عمل «*Hernia*» که بیش‌ترین تعداد در ماه را داشت، انتخاب و عمل‌های یک جراح خاص، در روز دوشنبه‌ها طی یک سال ثبت و بررسی شد. یک جراح، یک متخصص بیهوشی، دو اتاق جراحی و دو تیم جراحی (کمک‌جراح‌ها و تکنسین بیهوشی) مفروضات مدل هستند. ورود بیماران براساس نوع عمل جراحی فیلتر شد. بیماران متقاضی جراحی *Hernia* با توزیع نمایی (با نرخ ۰٫۰۰۸) وارد اتاق عمل می‌شوند.

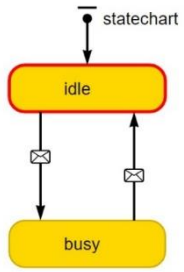
۳-۴- عامل‌های مدل

عامل‌هایی که برای مدل حاضر در نظر گرفته شد در **جدول ۲** قابل مشاهده می‌باشد.

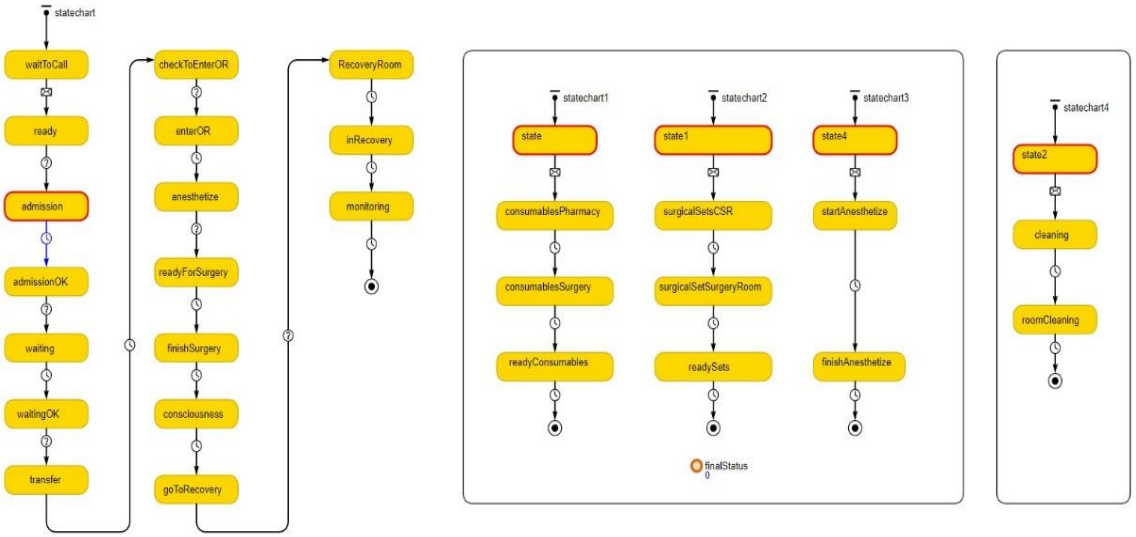
جدول ۲- عامل‌های مدل.
Table 2- Model agents.

شماره	اسم عامل‌ها	تعداد عامل‌ها
1	جراح	1
2	اسکراب (کمک جراح اول)	1
3	سیرکولر (کمک جراح دوم)	1
4	متخصص بیهوشی	1
5	تکنسین بیهوشی	1
6	پرستار اتاق عمل	1
7	پرستار ریکاوری	1
8	بیمار	با توجه به نرخ ورود بیمار به اتاق عمل

هر عامل دارای حداقل دو حالت است که براساس شرایطی که برایش تعریف می‌شود، تغییر می‌کند. به‌عنوان مثال اسکراب، سیرکولر، متخصص و تکنسین بیهوشی، پرستار اتاق عمل و پرستار ریکاوری دارای دو حالت مشغول و بیکار هستند (**شکل ۴**). در **شکل ۵** نمودار حالت عامل بیمار را مشاهده می‌کنید و در **شکل ۶** جراح دارای سه حالت بیکار، مشغول جراحی و فراخواندن بیمار جدید می‌باشد.

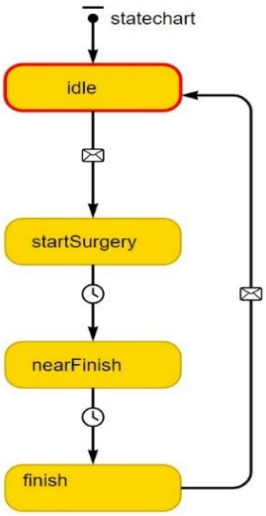


شکل ۴- نمودار حالت عامل اسکراب.
Figure 4- Condition diagram scrub.



شکل ۵- نمودار حالت عامل بیمار.

Figure 5- Condition Diagram Patient.



شکل ۶- نمودار حالت عامل جراح.

Figure 6- Condition diagram surgeon.

۴- نتایج

پس از تکمیل مدل، ۵۰ بار و هر بار به مدت ۴۸ روز (۶۹۱۲۰ دقیقه) اجرا شد. مقدار ورود بیمار در این یک‌سال (۴۸ روز) یکسان بوده است. با توجه به قضیه حد مرکزی، تعداد نمونه‌ها باید بالای ۳۰ باشد تا از توزیع نرمال پیروی کند. سناریوها نسبت به داده‌های واقعی مستقل از یکدیگر بودند. این فرضیه در سطح خطای $\alpha = 0.05$ مورد آزمون قرار گرفت.

$$H_0: \mu_1 = \mu_2.$$

$$H_1: \mu_1 \neq \mu_2.$$

۴-۱- اعتبار سنجی نتایج شبیه‌سازی

هدف از اعتبارسنجی مدل، تقریب قدرت مدل برای رفتار واقعی است. با این حال، این مدل نمی‌تواند واقعیت را کاملا منعکس کند و بهترین مدل‌ها تقریب خوب واقعیت است. ما برخی معیارها را برای اندازه‌گیری LOS در نظر گرفتیم. نتایج برای اعتبارسنجی با داده‌های واقعی بیمارستان مقایسه شد. آزمون t زوجی نیز بررسی و اعتبارسنجی تایید شد.

جدول ۳- مقایسه میانگین داده‌های شبیه‌سازی شده و واقعی.

Table 3- Comparison of simulated and real data means.

ردیف	معیار اندازه‌گیری	میانگین داده‌های شبیه‌سازی شده	میانگین داده‌های واقعی
1	زمان انتظار قبل از ورود به اتاق جراحی	13.27	13.63
2	زمان بین فراخوان بیمار تا ورودش به اتاق جراحی	22.39	22.83
3	زمان حضور بیمار در اتاق جراحی	69.03	79.45
4	زمان حضور بیمار در ریکاوری	30.296	26.70
5	زمان ورود بیمار به اتاق جراحی تا زمان خروج از ریکاوری	99.32	108.98
6	طول اقامت بیمار در سیستم	171.4	159.0

۴-۲- گلوگاه‌های اتاق عمل

نتایج اعتبارسنجی نشان می‌دهد که مدل شبیه‌سازی قابل اعتماد است؛ بنابراین، با توجه به نتایج اجرای چندباره مدل، گلوگاه‌ها شناسایی شدند. در مدل، حالت‌های با بیش‌ترین صف انتظار یا منابع تخصیص داده نشده به عنوان یک گلوگاه در نظر گرفته می‌شود. براساس نتایج، گلوگاه‌ها عبارتند از زمان انتظار بیمار قبل از ورود به اتاق جراحی، زمان بین فراخوان بیمار تا ورودش به اتاق جراحی، زمان حضور بیمار در اتاق جراحی، زمان حضور بیمار در ریکاوری، زمان ورود بیمار به اتاق جراحی تا زمان خروج از ریکاوری و طول اقامت بیمار در سیستم و طول اقامت بیمار در سیستم.

۴-۳- سناریوهای بهبود اتاق عمل

با توجه به گلوگاه‌ها، برخی سناریوها را با در نظر گرفتن نظرات خبرگان برای بهبود اتاق عمل تعریف شد. سناریوهای مختلفی از جمله تغییر زمان‌بندی فراخوان بیمار توسط جراح، تاثیر خستگی پرسنل بالینی بر عملکرد اتاق عمل و زمان انتظار بیمار، کاهش زمان انتقال لوازم مصرفی و ست جراحی به اتاق عمل و زمان بیهوش کردن بیمار مورد بررسی قرار گرفته است و ترکیبی از سناریوهای موثرتر بر روی این مدل مطالعه شده است. پس از انجام آزمون t زوجی برای تمام سناریوها، فرض صفر رد و فرض یک مورد قبول واقع شد. مقدار p در تمام سناریوها کم‌تر از ۰/۰۵ و در دو سناریو ۳ و ۴ که کم‌ترین تاثیر را در طول اقامت بیمار داشتند نزدیک به ۰/۰۵ به‌دست آمد.

جدول ۴- اثر سناریوهای بهبود بر اقدامات اتاق عمل.

Figure 4- Improvement scenarios affect operating room measures.

ردیف	سناریوهای بهبود	زمان انتظار قبل از ورود به اتاق جراحی	زمان بین فراخوان بیمار تا ورودش به اتاق جراحی	زمان حضور بیمار در اتاق جراحی	زمان حضور بیمار در ریکاوری	زمان ورود بیمار به اتاق جراحی تا زمان خروج از ریکاوری	طول اقامت بیمار در سیستم
1	تغییر زمان‌بندی فراخوان بیمار توسط جراح	-0.91 min	-0.89 min	-1.97 min	-0.2 min	-2.16 min	-7.31 min
2	تاثیر خستگی پرسنل بالینی بر عملکرد اتاق عمل و زمان انتظار بیمار	+0.59 min	+2.51 min	+11.43 min	-0.08 min	+11.36 min	+53.38 min
3	کاهش زمان انتقال لوازم مصرفی و ست جراحی به اتاق عمل	-0.04 min	-0.02 min	-0.32 min	0	-0.41 min	-2.52 min
4	کاهش زمان انتقال لوازم مصرفی و ست جراحی به اتاق عمل و زمان بیهوش کردن بیمار	-0.07 min	-0.08 min	-0.27 min	0	-0.27 min	-0.26 min
5	تغییر زمان‌بندی فراخوان بیمار توسط جراح و کاهش زمان انتقال لوازم مصرفی و ست جراحی به اتاق عمل و زمان بیهوش کردن بیمار	-1.03 min	-1.04 min	-1.97 min	-0.03 min	-1.99 min	-9.69 min

جدول ۴ اثرات سناریوهای بهبود را بر اقدامات نشان می‌دهد. نتایج نشان می‌دهد که سناریوی ترکیبی شامل تغییر زمان‌بندی فراخوان بیمار توسط جراح و کاهش زمان انتقال لوازم مصرفی و ست جراحی به اتاق عمل و زمان بیهوش کردن بیمار بیش‌ترین تاثیر مثبت را بر تمامی اقدامات داشته است.

۵- بحث و نتیجه‌گیری

سناریوهای پیشنهادی برای کاهش زمان انتظار بیماران نشان داد که با تغییر جزیی در فرآیندهای ارایه خدمات موجود و انعطاف‌پذیری در زمان فراخوان بیمار می‌توان طول اقامت بیماران در اتاق عمل را به میزان قابل توجهی کاهش داد. دیگر نتایج به‌دست آمده از این پژوهش؛

۱. خستگی پرسنل می تواند بر همه معیارها تاثیر منفی بگذارد.
۲. نتایج نشان داد که سناریوی ترکیبی بالاترین اثر بهبود را در تمامی معیارها دارد. سناریوی تغییر زمان‌بندی فراخوان بیمار، انتقال لوازم مصرفی و ست جراحی به اتاق عمل و هم‌چنین مدت زمان بیهوش کردن بیمار به عنوان موثرترین سناریو در نظر گرفته می‌شود.
۳. تغییر زمان‌بندی فراخوان بیمار توسط جراح روش موثری برای کاهش طول اقامت بیمار در اتاق عمل دارد و انتظار بیمار قبل از عمل را کاهش می‌دهد.

هدف اصلی پژوهش حاضر افزایش کارایی اتاق عمل به‌وسیله کاهش طول اقامت بیمار بود. با کاهش این زمان:

۱. زمان هدررفته اتاق عمل کاهش پیدا کرده و تعداد عمل‌های یک شیفت افزایش پیدا می‌کند. با انجام حتی یک عمل بیش‌تر در روز درآمد اتاق عمل به مقدار قابل توجهی افزایش می‌یابد.
۲. کاهش طول اقامت بیمار در اتاق عمل باعث بهتر ماندن راندمان پرسنل اتاق عمل می‌شود و کم‌تر دچار خستگی کار خواهند شد.
۳. کاهش طول اقامت بیمار از طرفی باعث کاهش هزینه‌های اتاق عمل نیز می‌شود، زیرا اگر عمل‌های برنامه‌ریزی شده در یک شیفت، به‌طول انجامد، نیاز به اضافه‌کاری پرسنل اتاق عمل و در نتیجه هزینه اضافه‌کاری می‌باشد.

۶- محدودیت‌های تحقیق

این تحقیق از نظر جنبه‌های جمع آوری اطلاعات در بیمارستان و روش شبیه‌سازی دارای محدودیت‌هایی بود. برخی از محدودیت‌های تحقیقاتی ما به شرح زیر است:

- حضور در اتاق عمل و جمع آوری اطلاعات واقعی با پیگیری بیمار، یک فرآیند پیچیده بود.
- شبیه‌سازی راهی برای ارزیابی راه‌حل‌ها ایجاد می‌کند اما خود راه حل تولید نمی‌کند.

منابع

[1] World Health Organization. (2013). *Global action plan for the prevention and control of noncommunicable diseases 2013-2020*. World Health Organization.

[2] Denton, B., Viapiano, J., & Vogl, A. (2007). Optimization of surgery sequencing and scheduling decisions under uncertainty. *Health care management science*, *10*, 13–24.

[3] Rothstein, D. H., & Raval, M. V. (2018). *Operating room efficiency* [presentation]. Seminars in pediatric surgery (Vol. 27, pp. 79–85).

[4] Guido, R., & Conforti, D. (2017). A hybrid genetic approach for solving an integrated multi-objective operating room planning and scheduling problem. *Computers & operations research*, *87*, 270–282.

[5] Borshchev, A., & Filippov, A. (2004). *From system dynamics and discrete event to practical agent based modeling: reasons, techniques, tools* [presentation]. Proceedings of the 22nd international conference of the system dynamics society (Vol. 22, pp. 25–29).

[6] North, M. J., & Macal, C. M. (2007). *Managing business complexity: discovering strategic solutions with agent-based modeling and simulation*. Oxford University Press.

[7] Maes, P. (1993). Modeling adaptive autonomous agents. *Artificial life*, *1*(1/2), 135–162.

[8] Russell, A. D. (2003). Similarities and differences in the responses of microorganisms to biocides. *Journal of antimicrobial chemotherapy*, *52*(5), 750–763.

[9] Santibáñez, P., Begen, M., & Atkins, D. (2007). Surgical block scheduling in a system of hospitals: an application to resource and wait list management in a British Columbia health authority. *Health care management science*, *10*, 269–282.

[10] Latorre-Núñez, G., Lüer-Villagra, A., Marianov, V., Obreque, C., Ramis, F., & Neriz, L. (2016). Scheduling operating rooms with consideration of all resources, post anesthesia beds and emergency surgeries. *Computers & industrial engineering*, *97*, 248–257.

[11] Sagnol, G., Barner, C., Borndörfer, R., Grima, M., Seeling, M., Spies, C., & Wernecke, K. (2016). *Robust allocation of operating rooms: a cutting plane approach to handle lognormal case durations and emergency arrivals*. Zuse Institute Berlin.

[12] Fairley, M., Scheinker, D., & Brandeau, M. L. (2019). Improving the efficiency of the operating room environment with an optimization and machine learning model. *Health care management science*, *22*, 756–767.

[13] Naderi, B., Roshanaei, V., Begen, M. A., Aleman, D. M., & Urbach, D. R. (2021). Increased surgical capacity without additional resources: Generalized operating room planning and scheduling. *Production and operations management*, *30*(8), 2608–2635.

[14] Park, J., Kim, B. I., Eom, M., & Choi, B. K. (2021). Operating room scheduling considering surgeons' preferences and cooperative operations. *Computers & industrial engineering*, *157*, 107306. https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0360835221002102

[15] Maghzi, P., Mohammadi, M., Pasandideh, S. H. R., & Naderi, B. (2022). Operating room scheduling optimization based on a fuzzy uncertainty approach and metaheuristic algorithms. *International journal of engineering*, *35*(2), 258–275.

[16] Li, Q., Liu, Y., Sipahi Döngül, E., Yang, Y., Ruan, X., & Enbeyle, W. (2022). Operating room planning for emergency surgery: optimization in multiobjective modeling and management from the latest developments in computational intelligence techniques. *Computational intelligence and neuroscience*, *2022*. https://www.hindawi.com/journals/cin/2022/2290644/

[17] Meliana, I. R., Purwoko, P., Aisyati, A., Piyandari, Y., & Rosyidi, C. N. (2022). An optimization model and decision support system of operating room scheduling in a teaching hospital. *Computer science and information engineering*, *25*(5), 883–891.

[18] Markazi-Moghaddam, N., Jame, S. Z. B., & Tofighi, E. (2020). Evaluating patient flow in the operating theater: An exploratory data analysis of length of stay components. *Informatics in medicine unlocked*, *19*, 100354. https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S235291482030068X

[19] Karimi, A., Sepehri, M. M., & Yavari, E. (2020). A simulation model approach to decrease the length of stay of patients undergoing cataract surgery. *Perioperative care and operating room management*, *21*, 100133. https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2405603020300480

[20] Eskandari, H., & Bahrami, M. (2017). Multi-objective operating room scheduling using simulation-based optimization. *Advances in industrial engineering*, *51*(1), 1–13.

[21] Imani Imanlo, M., & Atighe Chian, A. (2016). Daily scheduling of operating rooms under uncertainty with a simulation-based optimization approach. *Industrial management perspective*, *7*(26), 53–82.

[22] 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.

[23] Abbasi Siar, S., Keramati, M. A., & Motadel, M. (2021). Agent-based simulation consumer behavior in impulse buying. *Industrial management studies*, *19*(62), 99–138.

[24] Abolfathi, E., Eshlaghy, A. T., & Zadeh, M. R. H. (2022). Enhancing diffusion of innovation through operational analysis of agent-based modelling. *Journal of industrial management perspective*, *10*(1), 117–142.

[25] Ricci, W. M., Brandt, A., Mcandrew, C., & Gardner, M. J. (2015). Factors effecting delay to surgery and length of stay for hip fracture patients. *Journal of orthopaedic trauma*, *29*(3), e109. https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC4339640/

[26] Saadouli, H., Masmoudi, M., Jerbi, B., & Dammak, A. (2014). *An optimization and simulation approach for operating room scheduling under stochastic durations* [presentation]. 2014 international conference on control, decision and information technologies (codit) (pp. 257–262).

[27] 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.

[28] Persson, M., Hvitfeldt-Forsberg, H., Unbeck, M., Sköldenberg, O. G., Stark, A., Kelly-Pettersson, P., & Mazzocato, P. (2017). Operational strategies to manage non-elective orthopaedic surgical flows: a simulation modelling study. *BMJ open*, *7*(4), e013303. https://bmjopen.bmj.com/content/7/4/e013303.abstract

[29] Etter, K., Lerner, J., Kalsekar, I., de Moor, C., Yoo, A., & Swank, M. (2018). Comparative analysis of hospital length of stay and discharge status of two contemporary primary total knee systems. *The journal of knee surgery*, *31*(06), 541–550.

[30] Bhandari, M., Wilson, C., Rifkind, K., DiMaggio, C., & Ayoung-Chee, P. (2017). Prolonged length of stay in delayed cholecystectomy is not due to intraoperative or postoperative contributors. *Journal of surgical research*, *219*, 253–258.

[31] Lyons, J., McCaulley, L., Maronian, N., & Hardacre, J. M. (2019). A targeted initiative to discharge surgical patients earlier in the day is associated with decreased length of stay and improved hospital throughput. *The American journal of surgery*, *217*(3), 419–422.

[32] Boylan, M. R., Riesgo, A. M., Chu, A., Paulino, C. B., & Feldman, D. S. (2019). Costs and complications of increased length of stay following adolescent idiopathic scoliosis surgery. *Journal of pediatric orthopaedics b*, *28*(1), 27–31.

[33] Khasha, R., Sepehri, M. M., & Khatibi, T. (2018). An analytical model based on simulation aiming to improve patient flow in a hospital surgical suite. *Journal of industrial and systems engineering*, *12*(1), 66–82.

[34] Lee, D. J., Ding, J., & Guzzo, T. J. (2019). Improving operating room efficiency. *Current urology reports*, *20*, 1–8.

[35] Saeedian, M., Sepehri, M. M., Jalalimanesh, A., & Shadpour, P. (2019). Operating room orchestration by using agent-based simulation. *Perioperative care and operating room management*, *15*, 100074. https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2405603018300372

[36] Abdelghany, M., & Eltawil, A. B. (2014). *Individual versus integrated simulation techniques in healthcare applications* [presentation]. 2014 IEEE international conference on industrial engineering and engineering management (pp. 1214–1218).

[37] Rohleder, T. R., Lewkonia, P., Bischak, D. P., Duffy, P., & Hendijani, R. (2011). Using simulation modeling to improve patient flow at an outpatient orthopedic clinic. *Health care management science*, *14*, 135–145.

[38] Paul, J. A., & Lin, L. (2012). Models for improving patient throughput and waiting at hospital emergency departments. *The journal of emergency medicine*, *43*(6), 1119–1126.

[39] Jin, X., Sivakumar, A. I., & Lim, S. Y. (2013). *A simulation based analysis on reducing patient waiting time for consultation in an outpatient eye clinic* [presentation]. 2013 winter simulations conference (WSC) (pp. 2192–2203).

[40] Kadri, F., Chaabane, S., & Tahon, C. (2014). A simulation-based decision support system to prevent and predict strain situations in emergency department systems. *Simulation modelling practice and theory*, *42*, 32–52.

[41] Laskowski, M., McLeod, R. D., Friesen, M. R., Podaima, B. W., & Alfa, A. S. (2009). Models of emergency departments for reducing patient waiting times. *PloS one*, *4*(7), e6127.

[42] Zakaria, Z. Y., Amin, N. A. S., & Linnekoski, J. (2013). A perspective on catalytic conversion of glycerol to olefins. *Biomass and bioenergy*, *55*, 307–385.

[43] Wang, Y., Luangkesorn, K. L., & Shuman, L. (2012). Modeling emergency medical response to a mass casualty incident using agent based simulation. *Socio-economic planning sciences*, *46*(4), 281–290.

[44] Cabrera, E., Taboada, M., Iglesias, M. L., Epelde, F., & Luque, E. (2012). Simulation optimization for healthcare emergency departments. *Procedia computer science*, *9*, 1464–1473.

[45] Centeno, A. P., Martin, R., & Sweeney, R. (2013). *REDSim: a spatial agent-based simulation for studying emergency departments* [presentation]. 2013 winter simulations conference (wsc) (pp. 1431–1442).

[46] Taboada, M., Cabrera, E., Luque, E., Epelde, F., & Iglesias, M. L. (2013). Modeling, simulation and optimization of resources management in hospital emergency departments using the agent-based approach. *Advances in computational modeling research*, *1*, 1–31.

[47] Behr, J. G., & Diaz, R. (2016). Emergency department frequent utilization for non-emergent presentments: results from a regional urban trauma center study. *PLoS one*, *11*(1), e0147116. https://journals.plos.org/plosone/article?id=10.1371/journal.pone.0147116

[48] Faezipour, M., & Ferreira, S. (2013). A system dynamics perspective of patient satisfaction in healthcare. *Procedia computer science*, *16*, 148–156.

[49] Lim, M. E., Worster, A., Goeree, R., & Tarride, J. É. (2013). Simulating an emergency department: the importance of modeling the interactions between physicians and delegates in a discrete event simulation. *BMC medical informatics and decision making*, *13*(1), 1–11.

[50] Rohleder, T. R., Bischak, D. P., & Baskin, L. B. (2007). Modeling patient service centers with simulation and system dynamics. *Health care management science*, *10*, 1–12.

[51] Revetria, R., Mosca, R., Cassetari, L., Guizzi, G., Romano, E., & Santillo, L. C. (2012). *Advanced modeling methodology based on system dynamics in healthcare* [presentation]. Proceedings of the 6th wseas international conference on computer engineering and applications, and proceedings of the 2012 american conference on applied mathematics (pp. 127–132).

[52] Zulkepli, J., Eldabi, T., & Mustafee, N. (2012). *Hybrid simulation for modelling large systems: an example of integrated care model* [presentation]. Proceedings of the 2012 winter simulation conference (WSC) (pp. 1–12).

[53] Djanatliev, A., German, R., Kolominsky-Rabas, P., & Hofmann, B. M. (2012). *Hybrid simulation with loosely coupled system dynamics and agent-based models for prospective health technology assessments* [presentation]. Proceedings of the 2012 winter simulation conference (WSC) (pp. 1–12).

[54] Anagnostou, A., Nouman, A., & Taylor, S. J. E. (2013). *Distributed hybrid agent-based discrete event emergency medical services simulation* [presentation]. 2013 winter simulations conference (WSC) (pp. 1625–1636).

[55] Ahmad, N., Ghani, N. A., Kamil, A. A., & Mat Tahar, R. (2013). *Modeling emergency department using a hybrid simulation approach* [presentation]. IAENG transactions on engineering technologies: special volume of the world congress on engineering 2012 (pp. 701–711).

[56] Viana, J., Brailsford, S. C., Harindra, V., & Harper, P. R. (2014). Combining discrete-event simulation and system dynamics in a healthcare setting: A composite model for Chlamydia infection. *European journal of operational research*, *237*(1), 196–206.

[57] Song, L., & Guo, X. (2015). *Research on optimization of clinical pathway execution based on multi-agent simulation* [presentation]. Proceedings of the 2015 international conference on modeling, simulation and applied mathematics (pp. 136–139).

[58] Kalton, A., Falconer, E., Docherty, J., Alevras, D., Brann, D., & Johnson, K. (2016). Multi-agent-based simulation of a complex ecosystem of mental health care. *Journal of medical systems*, *40*, 1–8.