# A Model to Improve the Allocation of Hospital Resources Using Queuing Theory

**Farzad Firouzi Jahantigh[1*], Atie Aghajannejad[2]**

[1]Department of Industrial Engineering, Faculty of Engineering, University of Sistan and Baluchestan, Zahedan, Iran
[2]Department of Industrial Engineering, Payame Noor University of Shemiranat, Tehran, Iran

*Article Info:*

***Received:*** **24 Dec 2016** ***Accepted:*** **6 Feb 2017**

## ABSTRACT

***Introduction:*** The performance of health care systems in terms of patient flow times and utilization of critical resources can be assessed through queueing and simulation models. This paper provides a tool for studying the capacity, resources, and patient flow time. ***Materials and Methods:*** This study was performed in CCU section of the Kosar Hospital, focusing on the impact of outages (preemptive and non-preemptive) on the effective utilization of resources and on the flow time of patients. Two procedures of queueing network solution have been presented; the decomposition and the Brownian motion approaches. Several scenarios have been defined to improve the performances. Simulation has been utilized as a validation tool. ***Results:*** Simulation results show that scenario 2 (reduction of time spent on resolving delays) has the lowest waiting times. Scenarios 4 to 6 show that the proportion of time spent on absenteeism is less than the time spent on the resolving delays. ***Conclusion:*** The queueing models based on decomposition approaches to Brownian motion Approximation present more accurate results. Decreasing the number of interrupts and reducing the time spent on resolving interrupts decrease flow times. The impact of outages is considered a key managerial challenge.

***Key words:***

1. Hospitals
2. Patients
3. Motion

***Corresponding Author:** Farzad Firouzi Jahantigh

**E-mail:** *firouzi@eng.usb.ac.ir*



[ Downloaded from shefayekhatam.ir on 2025-11-18 ]

[ DOI: 10.18869/acadpub.shefa.5.2.S1.19 ]

# مدلی جهت بهبود تخصیص منابع بیمارستانی با استفاده از تئوری صف

**فرزاد فیروزی جهانتیغ[۱*] ، آتیه آقاجان نژاد[۲]**

[۱]گروه مهندسی صنایع، دانشکده مهندسی، دانشگاه سیستان و بلوچستان، زاهدان، ایران

[۲]گروه مهندسی صنایع، دانشگاه پیام نور شمیرانات، تهران، ایران

**اطلاعات مقاله:**

**تاریخ دریافت:** ۴ دی ۱۳۹۵ **تاریخ پذیرش:** ۱۸ بهمن ۱۳۹۵

## چـــــکیده

***مقدمه:*** عملکرد سیستم‌های مراقبت‌های بهداشتی از نظر زمان‌های انتظار بیمار و استفاده از منابع مهم می‌تواند از طریق مدل‌های صف و شبیه‌سازی ارزیابی شود. این مقاله یک ابزار برای مطالعهٔ ظرفیت، منابع و زمان انتظار بیمار فراهم می‌کند. ***مواد و روش‌ها:*** این مطالعه در بخش سی سی یو بیمارستان کوثر، با تمرکز بر تأثیر وقفه‌های (پیشگیرانه و غیر پیشگیرانه) در بهره‌برداری مؤثر از منابع و در زمان جریان بیماران انجام شد. دو روش تجزیه و روش‌های حرکت براونی جهت حل مدل صف ارائه شده است. چندین سناریو به‌منظور بهبود عملکردها تعریف شده است. شبیه‌سازی به‌عنوان یک ابزار اعتبارسنجی به کار گرفته شده است. ***یافته‌ها:*** نتایج شبیه‌سازی نشان داد که سناریو ۲ (کاهش زمان صرف شده در حل و فصل وقفه‌ها) کمترین زمان انتظار را دارد. سناریو ۴ تا ۶ نشان داد نسبت زمان صرف شده در غیبت کمتر از زمان صرف شده در حل و فصل وقفه‌ها است. ***نتیجه‌گیری:*** مدل‌های صف مبتنی بر تجزیه به نتایج دقیق‌تری از تخمین حرکت براونی می‌رسند. کاهش تعداد وقفه‌ها و کاهش زمان صرف شده در حل و فصل وقفه‌ها زمان‌های جریان را کاهش می‌دهد. تأثیر وقفه یک چالش مهم مدیریتی در نظر گرفته شده است.

**کلید واژه‌ها:**

۱. بیمارستان‌ها
۲. بیماران
۳. حرکت

* **نویسنده مسئول:** فرزاد فیروزی جهانتیغ

**آدرس الکترونیکی:** *firouzi@eng.usb.ac.ir*

[ Downloaded from shefayekhatam.ir on 2025-11-18 ]

[ DOI: 10.18869/acadpub.shefa.5.2.S1.19 ]

## مقدمه

امروزه مسائل اقتصادی به صنایع خدماتی به‌خصوص صنعت بهداشت و درمان نگاه ویژه‌ای دارند (۱، ۲). افزایش هزینه‌های مراقبت از سلامت، گسترش رقابت بین مؤسسات ارائهٔ خدمت و رشد فناوری در این بخش موجب پیچیدگی نظام‌های ارائهٔ خدمت شده است. از ویژگی‌های مهم این صنعت تقاضای برنامه‌ریزی نشده برای منابع می‌باشد که عدم تطابق دایمی تقاضا و ظرفیت را در پی دارد. در نتیجه وقفه‌ها در فرایندهای بهداشت و درمان معمول هستند اما از نقطه نظر رضایت بیمار و بهره‌دهی اقتصادی در سطح بسیار نامطلوبی می‌باشند. در این مقاله، بر تأثیر غیبت‌های ناخواستهٔ (برنامه‌ریزی نشده) کارکنان پزشکی و وقفه‌های پیشگیرانه و غیر پیشگیرانه (برنامه‌ریزی شده و بدون برنامه‌ریزی) در جریان عملیات بر بار جریان بیماران و تخصیص بهینهٔ منابع تمرکز می‌کنیم. عدم تخصیص بهینهٔ منابع و زمان انتظار بیمار نقش مهمی در سیستم بهداشت و درمان امروز بازی می‌کند و ادبیات این صنعت نشانگر آن است که لیست انتظار و جریان بیمار متراکم، از مشکلات مهم این صنعت می‌باشد (۳، ۴).

به‌منظور بهبود عملکرد بیمارستان به‌عنوان یک سیستم به درک پویای آن نیاز است که به‌منظور به دست آوردن چنین درکی، تئوری صف و شبیه‌سازی مجموعه‌ای ایده‌آل از ابزارها برای تعیین و تخصیص ظرفیت مورد نیاز برای پاسخ به موقع تقاضا را ارائه می‌دهد (به حداقل رساندن تأخیر). در سیستم بهداشت و درمان از تئوری صف در ارزیابی ظرفیت مورد نیاز استفاده شده است (۷-۵، ۳). از مدل صف به‌منظور کاهش تأخیر در سیستم بهداشت و درمان استفاده می‌شود. فرایند خدمات رسانی بیمار، ممکن است قطع و یا به تأخیر افتد که این توقف‌ها، زمان خدمت رسانی طبیعی را افزایش خواهد داد. زمان افزایش یافته و زمان خدمت رسانی تنظیم شده، زمان خدمت رسانی مؤثر نامیده می‌شود که کل زمانی است که توسط بیمار در یک ایستگاه تجربه می‌شود. تحلیل تأخیر و صف می‌تواند بهبود چشمگیری در عملکرد پزشکی، رضایت بیمار و بهره‌وری هزینهٔ بهداشت و درمان داشته باشد.

مطالعات زیادی در این زمینه صورت گرفته است در یکی از این مطالعات، کریمرز[1] و همکارانش توضیح دادند که چگونه مدل صف، یک ابزار عالی برای تجزیه و تحلیل و بهبود عملکرد سیستم‌های بهداشت و درمان پیشنهاد می‌کند (۸). در مطالعه‌ای دیگر موکادیس[2] و همکارانش یک مدل شبکه‌ای صف مارکف چند کلاسه را از جریان بیمار توسعه دادند (۹). با استفاده از شبیه‌سازی گسسته، آن‌ها تأثیر دادن اولویت درمان به طبقات مختلف بیماران و مقایسهٔ نتیجهٔ تراکم زمان پاسخگویی و لحظات با دادهٔ واقعی را بررسی کردند. کارنن[3] و همکارانش چندین مطالعهٔ موردی را توصیف کردند که نشان می‌دهد چگونه مدلسازی و شبیه‌سازی می‌تواند به دولت‌ها در انجام این مسئولیت‌ها کمک کند (۱۰). آن‌ها طیف وسیعی از مدل‌ها از جمله: سری‌های زمانی، زنجیرهٔ مارکف و مدل‌های صف را به کار گرفتند. براین[4] و همکارانش یک سیستم پشتیبانی تصمیم را بر اساس مدل ارلانگ توسعه دادند که می‌تواند به‌منظور بررسی اندازهٔ فعلی واحدهای پرستاری و ادغام بخش‌ها استفاده شود (۱۱). سپهری و همکارانش از مدلسازی ریاضی و شبیه‌سازی برای به حداکثر رساندن جریان بیمار و به حداقل رساندن هزینه در بخش قلب بیمارستان مدرس تهران استفاده کردند (۱۲). در این مقاله یک مطالعهٔ موردی از بیمارستان کوثر (آستانهٔ اشرفیه) ارائه شده است که عملکرد بخش سی سی یو را مورد تجزیه و تحلیل قرار می‌دهد. به این منظور یک شبکهٔ صف باز با استفاده از روش تجزیه و همچنین یک مدل صف براونی ساخته شده است.

اکثر مدل‌های استفاده شده در این حوزه مدل زنجیرهٔ مارکف می‌باشد و بیشتر موضوع ظرفیت صف مورد بررسی قرار گرفته است ولی مدل پیشنهادی ما، بهره‌برداری مؤثر از منابع و زمان جریان بیماران به وسیلهٔ مدلسازی حرکت براونی و مقایسهٔ عملکردی با مدل‌های دیگر را مورد بررسی قرار می‌دهد. در این پژوهش هدف اصلی شناسایی عوامل مؤثر بر زمان جریان بیماران و نشان دادن مزایای استفاده از مدل‌های ریاضی (صف) برای مدیران در بخش‌های درمانی می‌باشد. پژوهشگران در پی آن هستند که با ارائهٔ راهکاهای نوین و اصلاح و پیاده‌سازی الگوهای جدید مدیریتی در این عرصه عملکرد بیمارستان‌ها را به گونه‌ای ارتقاء بخشند که با هدفمند نمودن تخصیص منابع و استفادهٔ بهینه از سرمایه‌های موجود و در نتیجه ارائهٔ خدمات بهتر، موجبات رضایت‌مندی مخاطبان را فراهم آورند.

## مواد و روش‌ها

این پژوهش از دیدگاه شیوه، توصیفی و از دیدگاه هدف، یک پژوهش کاربردی می‌باشد که در بخش سی سی یو (CCU)[5] بیمارستان کوثر آستانهٔ اشرفیه در سال ۱۳۹۳ انجام شده است. مراحل اصلی این پژوهش در برگیرندهٔ: (۱) به‌روز آوری و آماده‌سازی اولیه، (۲) طراحی پرسشنامه، (۳) توزیع پرسشنامه، (۴) جمع آوری و تحلیل پرسشنامه، (۵) توسعهٔ مدل صف، (۶) به کارگیری مدل، (۷) اعتبارسنجی با استفاده از شبیه‌سازی، (۸) جمع‌بندی و نتیجه‌گیری می‌باشد. به‌منظور انجام

[1] Creemers
[2] Mokaddis
[3] Karnon
[4] Bruin
[5] Coronary care unit



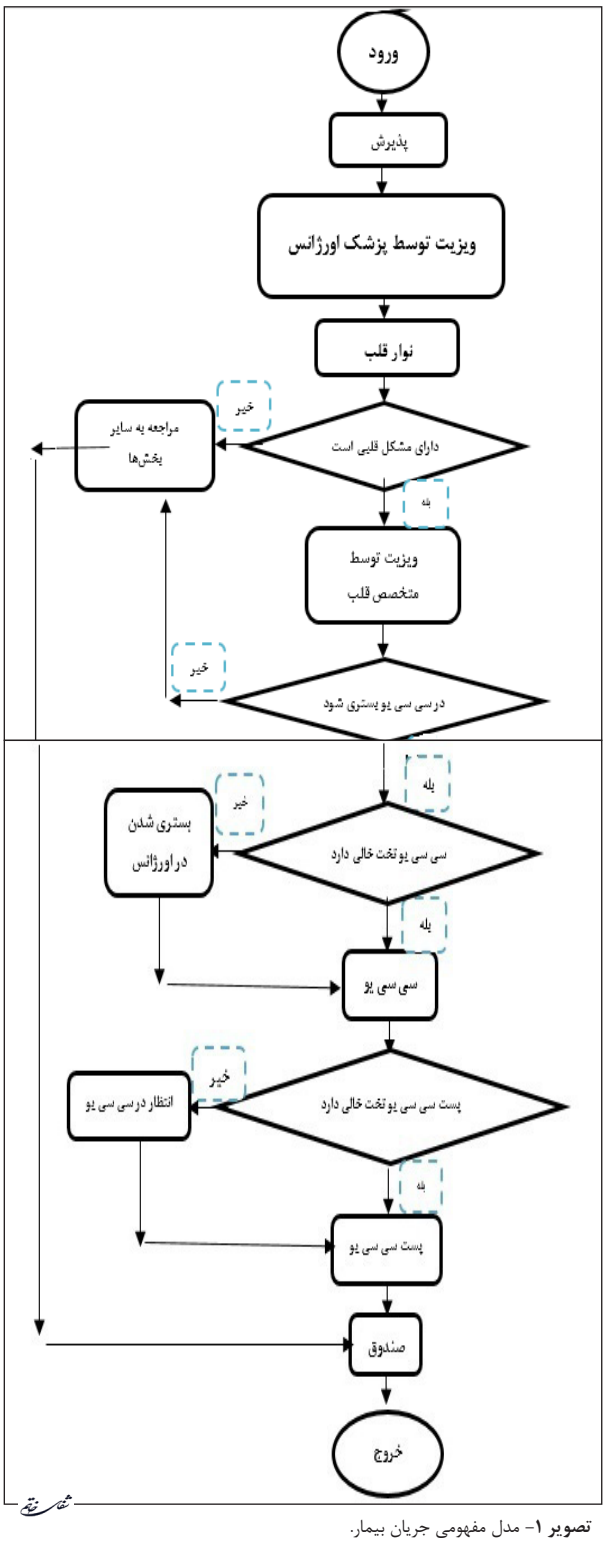
[ Downloaded from shefayekhatam.ir on 2025-11-18 ]
[ DOI: 10.18869/acadpub.shefa.5.2.S1.19 ]

مراحل یاد شده و آگاهی از چگونگی جریان بیماران، اطلاعات مختلفی از این بخش جمع‌آوری گردید. در این بخش ۳ متخصص قلب و ۱۴ پرستار فعالیت دارند و به طور متوسط سالانه ۱۰۰۰ نفر مراجعه کننده دارد و دارای ۱۰ تخت می‌باشد. این داده‌ها از طریق استفاده از پایگاه‌های دادهٔ موجود، مطالعات میدانی و اطلاعات تخصصی به دست آمده است. در مجموع ۱۵۰ نفر به طور تصادفی جهت نمونه‌گیری برای مطالعهٔ بیشتر انتخاب شد و پرسشنامه‌ها بین آن‌ها توزیع گردید. در طول متن، از اطلاعات حاصل از پرسشنامه‌ها برای نشان دادن مدل به صورت عددی استفاده می‌شود.

مدل مفهومی جریان بیمار در تصویر ۱ نشان داده شده است. همان گونه که دیده می‌شود بیمار پس از ورود به اورژانس توسط پزشک اورژانس ویزیت می‌شود و در صورت داشتن مشکل قلبی به متخصص قلب ارجاع داده می‌شود و در صورتی که سی سی یو تخت خالی داشته باشد در این بخش بستری می‌شود. سی سی یو بخشی است که به طور ویژه از بیماران قلبی مراقبت می‌نماید و به طور پیوسته بیماران ویزیت می‌شوند، نوار قلب و آنزیم‌های قلبی بیماران بررسی می‌شود. پس از آن در صورتی که پست سی سی یو (PCCU)[6] تخت خالی داشته باشد بیماران به پست سی سی یو منتقل می‌شوند. پست سی سی یو بخشی است که بیماران رو به بهبود به آنجا منتقل می‌شوند، دستگاه‌هایی که در سی سی یو به بیمار متصل بوده از آن‌ها جدا شده و به پزشک برای ترخیص بیمار قلبی اطمینان خاطر می‌دهد و در نهایت پس از طی گام‌های فرایند جریان بیمار ترخیص می‌گردد.

مدل ریاضی این پژوهش می‌تواند ارائهٔ یک ابزاری ارزشمند برای مطالعهٔ ظرفیت، منابع و زمان جریان بیمار باشد. کمبود منابع و افزایش تقاضا برای خدمات سلامت در کنار الزامات اخلاقی، سیاسی و اجتماعی برای استفادهٔ بهینه از منابع موجود، اقتصاد بهداشت و درمان را به جزء لاینفک مدیریت نظام سلامت به‌ویژه در بیمارستان‌ها به عنوان پیچیده‌ترین، بزرگ‌ترین و پرهزینه‌ترین بخش سلامت تبدیل نموده است.

برای رسیدن به اهداف این مطالعه، مدل‌های صف بخش سی سی یو در بیمارستان کوثر را با دو روش تجزیهٔ پارامتری؛ با استفاده از معادلهٔ کینگمن[7] (۱۳) و تقریب مشتق شدهٔ ویت[8] (۱۴)جهت ارزیابی عملکرد و یک مدل صف براونی (۱۵) توسعه می‌دهیم. در این بخش رویکرد تجزیهٔ تقریبی که توسط جکسون[9] (۱۶) ابداع شد را مطرح می‌کنیم. در این مدل در همهٔ مراحل، بافرها نامحدود فرض می‌شود (یعنی فرض می‌شود که بیماران هیچ رفتاری مانند قبول نکردن یا امتناع ورزیدن هنگام وارد شدن یا منتظر ماندن در صف از خود نشان نمی‌دهند). در این مدل i ایستگاه کاری که هر ایستگاه، $m_i$ سرویس دهنده را به فعالیت وا می‌دارد در نظر گرفته می‌شود. ایستگاه‌های کاری ۱ تا ۵ به ترتیب نشان دهندهٔ پذیرش، ویزیت توسط پزشک




**تصویر ۱**- مدل مفهومی جریان بیمار.

[6] Post coronary care unit
[7] Kingman
[8] Whi
[9] Jackson



[ Downloaded from shefayekhatam.ir on 2025-11-18 ]
[ DOI: 10.18869/acadpub.shefa.5.2.S1.19 ]

عمومی، ویزیت توسط پزشک متخصص، سی سی یو، پست سی سی یو می‌باشد و همچنین k رده (طبقهٔ) بیمار در نظر گرفته می‌شود. بیمارانی که به رده‌های مختلف تعلق دارند، در دوره‌های زمانی ورود به داخل، زمان‌های خدمت رسانی و مسیریابی با هم فرق دارند. نرخ ورود خارجی بیمار برابر است با:

$$\eta=\sum_{k=1}^{K}\eta_k \qquad (۱)$$

که $\eta_k$ نرخ ورود خارجی بیماران طبقهٔ k می‌باشد (ورود خارجی اشاره به مراجعهٔ اول دارد). فرض می‌شود که فواصل زمانی بین ورود خارجی به صورت نمایی توزیع شده است چنین فرضی تنها یک محدودیت کمی در دقت و صحت مدل به شمار می‌آید در حالی که نشان داده شده است که مجموع تعداد زیادی از فرایندهای تکرار مستقل (فرایندهای ورود طبقات مختلف بیماران) به فرایند پواسون گرایش خواهند داشت. بنابراین نرخ ورود بیمار در ایستگاه کاری اول نیز از فرایند پواسون پیروی می‌کند که به صورت زیر قابل محاسبه است:

$$\lambda_1=\sum_{k=1}^{K}\eta_k\gamma_k \qquad (۲)$$

که $\gamma_k$ نشان دهندهٔ تعداد ویزیت‌های بیمار طبقهٔ k می‌باشد.

نرخ ورود بیمار در ایستگاه‌های بعدی به صورت زیر قابل محاسبه می‌باشد:

$$\lambda_2=\eta \qquad (۳)$$

$$\lambda_i=\sum_{k=1}^{K}\lambda_{ik} \qquad i\in\{3,4,5\} \qquad (۴)$$

که در آن $\lambda_{ik}$ نشان دهندهٔ نرخ ورود بیمار طبقهٔ k در ایستگاه کاری i می‌باشد.

یکی از عوامل مهم مؤثر بر زمان جریان بیمار وقفه‌ها می‌باشند. اصطلاح جریان بیمار نشان دهندهٔ توانایی سیستم بهداشت و درمان در خدمت رسانی سریع، معتبر و کارآمد به بیماران در حین گذراندن مراحل درمان می‌باشد. فرایند خدمت رسانی بیمار ممکن است به تأخیر افتد که این توقف‌ها، زمان خدمت رسانی طبیعی را افزایش خواهد داد. زمان افزایش یافته و زمان خدمت رسانی تنظیم شده، زمان خدمت رسانی مؤثر نامیده می‌شود که کل زمانی است که توسط بیمار در یک ایستگاه تجربه می‌شود. در این مقاله یک تمایز بین زمان‌های توقف برنامه‌ریزی شده و غیر برنامه‌ریزی شده ایجاد شده است، زمان‌های توقف بدون برنامه‌ریزی معمولاً در آغاز هر دوره خدماتی رخ می‌دهند (یعنی در آغاز یک شیفت کاری) و یا هنگامی که یک دکتر یا شخص دیگری از کارکنان غایب است (مثلاً به سبب دیر آمدن). به طور کلی از طریق غیبت‌های ناخواستهٔ کارکنان پزشکی و یا وقفه‌های موجود در عملیات، خدماتی ایجاد می‌شود که در نتیجه باعث ایجاد زمان انتظار می‌شوند، انتظار کار بیشتری را برای کارکنان پزشکی ایجاد می‌کند که این امر به نوبهٔ خود با اضافه کاری تعدیل می‌شود. زمان قطع غیر پیشگیرانه به‌عنوان غیبت‌های بدون برنامه در نظر گرفته می‌شود که میانگین و واریانس زمان غیبت به ترتیب با $\frac{1}{\mu}$ و $\sigma_s^2$ تعیین می‌شود. (یعنی زمان‌های معمول غیبت، پیش فرض شده‌اند). به علاوه یک مقدار متوسط از بیماران (نشان داده شده توسط n) را جهت ورود در بین دو غیبت متوالی فرض می‌کنیم. در واقع n ممکن است به‌عنوان تعدادی از بیماران در یک بازهٔ زمانی مورد توجه قرار گیرد. برای قطع پیشگیرانه دو حالت متفاوت وجود دارد؛ از یک سو فرض می‌شود که قطع پیشگیرانه فقط در طول زمان خدمت واقعی رخ دهد، به این ترتیب قطع پیشگیرانه به طول زمان حل و فصل قطع قبلی وابستگی ندارد. که این بدان معنا نیست که فرایند خدمات به یک بیمار نمی‌تواند بیش از یک بار قطع گردد. از سوی دیگر ممکن است رخ دادن قطع پیشگیرانه در زمان حل و فصل فرض شود (به‌عنوان مثال ممکن است پزشک قطع را در زمانی برنامه‌ریزی کند که درگیر حل و فصل قطع قبلی باشد). بنا بر تأخیرهای غیر پیشگیرانه اجازهٔ رخ دادن تأخیرهای پیشگیرانه داده می‌شود. که این تأخیرها هر زمان که یک پزشک در جریان فعالیت، فعالیت را متوقف کند، رخ می‌دهد. این تأخیرها در مجموعهٔ مدلی توسط هاپ[10] و همکاران (۱۳) ارائه شده است. با توجه به معادلهٔ کینگمن، کل زمان جریان مورد انتظار بیمار در ایستگاه کاری i به صورت زیر محاسبه می‌شود:

$$E[W_{kingman}]=\left(\frac{C_{a_i}^2+C_{s_i}^2}{2}\right)\left(\frac{\rho_i^{\sqrt{2(m_i+1)}-1}}{m_i(1-\rho_i)}\right)\frac{1}{\mu_i}+\frac{1}{\mu_i} \qquad (۵)$$

که $C_{a_i}^2$ ضریب مربع تنوع ورود خارجی و $C_{s_i}^2$ ضریب مربع تنوع و $\rho_i$ نرخ بهره‌برداری مؤثر (شدت ترافیک مؤثر) در ایستگاه کاری i تعریف می‌شود:

$$C_{s_i}^2=\sigma_i^2\mu_i^2 \qquad (۶)$$

$$\rho_i=\frac{\lambda_i}{\mu_i} \qquad (۷)$$

و $\lambda_i$ نرخ ورود بیمار به ایستگاه کاری i می‌باشد. و محاسبهٔ $C_{a_i}^2$ مستلزم استفاده از مجموعه‌ای از معادلات خطی می‌باشد.

در حالی که طبق معادلهٔ ویت زمان جریان مورد انتظار بیمار به صورت زیر محاسبه می‌شود:

$$E[W_{whitt}]=\Upsilon_i\left(\frac{C_{a_i}^2+C_{s_i}^2}{2}\right)E[W_{M/M/m_i}]+\frac{1}{\mu_i} \qquad (۸)$$

که در این معادله نیاز به محاسبهٔ زمان مورد انتظار در صف برای سرویس دهنده $m_i$ می‌باشد که همین جریان محاسباتی را به طور قابل ملاحظه‌ای افزایش می‌دهد.

[10] Hopp



[ Downloaded from shefayekhatam.ir on 2025-11-18 ]

[ DOI: 10.18869/acadpub.shefa.5.2.S1.19 ]

$$E[W_{M/M/m_i}]=\frac{1}{\mu_i}\frac{P_i}{m_i(1-\rho_i)}+\frac{1}{\mu_i} \qquad (۹)$$

که در آن احتمال ماندن در صف پس از رسیدن به ایستگاه کاری i برابر است با:

$$P_i=P(N_i\geq m_i)=\left[\frac{(m_i\rho_i)^{m_i}}{m_i!\,(1-\rho_i)}\right]\left[\frac{(m_i\rho_i)^{m_i}}{m_i!\,(1-\rho_i)}+\sum_{j=0}^{m_i-1}\frac{(m_i\rho_i)^j}{j!}\right]^{-1} \qquad (۱۰)$$

و $N_i$ برابر تعداد بیماران حاضر در ایستگاه کاری i می‌باشد.

کاری که ما انجام می‌دهیم استفاده از مدل صف براونی است زیرا به‌عنوان یک جانشین برای مدل صف به خدمت گرفته می‌شود. حرکت براونی و قابلیت کاربرد آن، در حالی که روش تجزیهٔ پارامتری مدت طولانی مورد استفاده گرفت، برای مشکل موجود تجربهٔ جدیدی به شمار می‌آید. این مدل‌ها ریشه در تئوری دارد (۲۰-۱۷) و مزیت مطالعهٔ شبکه‌های صف را به‌عنوان یک کل در خود حفظ کرده است (مدل‌های صف براونی از روش تجزیه استفاده نمی‌کنند). بنابراین توانسته‌اند شبکه را به صورت دینامیک‌تر بررسی کنند. این مدل‌ها از تئوری ترافیک سنگین سرچشمه گرفته‌اند. شرایط ترافیک سنگین فرض می‌کند که همهٔ ایستگاه‌ها در شبکه به طور بحرانی زیر بار قرار دارند. در چنین محیطی، ممکن است رویکردهای تجزیهٔ پارامتری سنتی نتایج دقیقی را برای مقیاس‌های عملکردی فراهم نکنند و رویکردهای دیگر مانند مدل‌های صف‌بندی براونی مورد نیاز باشد. بیشتر نشان گذاری و مفاهیم گسترش داده شده در این قسمت از مقاله هم حفظ می‌شود. بنابراین ما روی موضوعات متفاوت از روش تجزیهٔ پارامتری متمرکز خواهیم شد. بارزترین تفاوت را می‌توان در مکانیزم مسیریابی مشاهده کرد. در مدل صف براونی فرض می‌کنیم که در فرایند درمان یک بیمار شش مرحله وجود دارد:

۱- پذیرش
۲- ویزیت توسط پزشک اورژانس
۳- ویزیت توسط پزشک متخصص
۴- سی سی یو
۵- پست سی سی یو
۶- پذیرش برای تسویه حساب

بنابراین در مدل براونی، ما یک تفاوت بین مرحلهٔ اول و آخر قائل می‌شویم (در حالی که در روش تجزیه فقط یک پذیرش داریم یعنی در آن مرحلهٔ اول و آخر با هم ترکیب شده‌اند). در نتیجه باید با ۶ طبقه از بیماران سر وکار داشته باشیم. C نشان دهندهٔ طبقهٔ بیمار است. بنابراین برای هر کدام از طبقه‌ها، مراحل ۱ تا ۶ وجود دارد (باید به این موضوع توجه کرد که این طبقه‌بندی با طبقه‌بندی بیماران در قسمت تجزیهٔ پارامتری نباید اشتباه گرفته شود).

نرخ مجموع ورودی مرحلهٔ ۱ می‌تواند با فرمول زیر بیان شود:

$$\lambda_{b_1}=\sum_{k=1}^{K}\eta_k\gamma_{\alpha_k} \qquad (۱۱)$$

نرخ مجموع ورودی در مرحلهٔ ۶ نیز عبارتست از:

$$\lambda_{b_6}=\sum_{k=1}^{K}\eta_k\gamma_{\beta_k} \qquad (۱۲)$$

تعداد کل ورودی به ایستگاه کاری پذیرش را به دو جریان پذیرش اولیه و بعدی تقسیم می‌کنیم که به ترتیب $\gamma_{\alpha_k}$ و $\gamma_{\beta_k}$ را به‌عنوان میانگین تعداد پذیرش‌های اولیه و بعدی یک بیمار طبقهٔ k تعریف می‌کنیم. (به طوری که $\gamma_k=\gamma_{\alpha_k}+\gamma_{\beta_k}$). نرخ مجموع ورودی $\gamma_{b_c}$ در مراحل باقیماندهٔ c، متناسب است با نرخ‌های ورودی در ایستگاه‌های کاری i (i=c).

با استفاده از $Z_i$ که نماد حالت ثابت از Z (روند حجم کار) می‌باشد میانگین تعداد بیماران حاضر در ایستگاه کاری i (در صف و در فرایند) برابر است با:

$$\bar{Q}_i=z_i\mu_i \qquad (۱۳)$$

با استفاده از قانون لیتل[11] (۲۱) در می‌یابیم که میانگین زمان صرف شده در ایستگاه کاری i (شامل هر دو زمان انتظار و خدمات) مساوی است با:

$$E[W_{Brownian}]=\frac{\bar{Q}_i}{\lambda_i} \qquad (۱۴)$$

مدل‌ها از طریق یک شبیه‌سازی روادید گسسته که حداکثر قابلیت تنظیم را دارد با استفاده از بستهٔ نرم‌افزاری ارنا تائید خواهند شد (۲۳، ۲۲). این نرم‌افزار امکان شبیه‌سازی و همچنین تجزیه و تحلیل سناریوهای مختلف را فراهم می‌آورد.

## یافته‌ها

در پاسخ به اهداف پژوهش، بخش سی سی یو با استفاده از شبیه‌سازی رویداد گسسته مدل شده است. استفاده از شبیه‌سازی در پژوهش‌های بهداشت و درمان بسیار گسترده شده است. مدل شبیه‌سازی تحت ساختار، فرضیات و پارامترهایی یکسان با مدل‌های صف‌بندی عمل می‌کند. در نتیجه مدل شبیه‌سازی می‌تواند برای اعتبار سنجی استفاده شود. طول اجرای شبیه‌سازی، دقت آماری مورد نظر را تضمین می‌کند.

معیارهای عملکرد به دست آمده برای شبیه‌سازی در جدول ۱ و ۲ آمده است (پارامترهای مرتبط با زمان بر اساس روز آمده‌اند).

این یافته‌ها پیشنهاد می‌دهد که مدل‌های صف براونی کنونی ابزارهایی قابل اعتماد برای مطالعهٔ سیستم‌های پیچیدهٔ بیمارستانی نیستند، چون می‌توان مشاهده کرد که زمان جریان برای یک بیمار به طور متوسط در ایستگاه‌های ۱ و ۲، معمولاً به ترتیب ۳/۵ و ۵/۴ روز است در حالی که براونی ۵/۴ و ۷/۷ محاسبه کرده است. متأسفانه، معادلهٔ ویت از لحاظ محاسباتی بسیار طولانی است بنابراین معادلهٔ کینگمن یک تخمین دقیق مناسب

[11] Little law



[ Downloaded from shefayekhatam.ir on 2025-11-18 ]
[ DOI: 10.18869/acadpub.shefa.5.2.S1.19 ]

**جدول ۱**- خلاصه‌ای از نتایج مدل.

| i<br>مدل‌های تحلیلی | ۱ | ۲ | ۳ | ۴ | ۵ |
|---|---|---|---|---|---|
| $1/\mu_i$ | ۰/۰۱۲۶۹ | ۰/۰۶۳۴۱ | ۰/۷۹۷۲۱ | ۵/۰۳۲۴۹ | ۸/۰۹۶۷۳ |
| $\rho_i$ | ۰/۹۹۵۵۵ | ۰/۹۷۸۶۶ | ۰/۱۴۷۸۸ | ۰/۷۵۷۱۳ | ۰/۲۰۴۰۸ |
| $C_{s_i}^2$ | ۰/۶۵۰۹۱ | ۰/۶۰۶۲۴ | ۱۴/۰۷۹۸ | ۱/۹۸۷۳۳ | ۲۳/۴۱۳۷ |
| $C_{a_i}^2$ | ۰/۰۳۱۸۸ | ۰/۹۱۴۷۷ | ۰/۸۰۴۵۶ | ۰/۸۴۱۴۲ | ۰/۹۷۳۵۵ |
| $P_i$ | ۰/۹۹۱۵۱ | ۰/۹۶۸۱۶ | ۰/۰۰۰۱ | ۰/۱۳۱۰۸ | ۰/۰۰۰۱ |
| $E[W_{Kingman}]$ | ۵/۰۵۹۰۶ | ۳/۹۵۴۴۲ | ۰/۷۹۷۲۲ | ۵/۲۴۰۳۹ | ۸/۰۹۶۹۹ |
| $E[W_{Whitt}]$ | ۵/۰۵۹۲۳ | ۳/۹۵۳۱۰ | ۰/۷۹۷۲۲ | ۵/۲۰۳۳۷ | ۸/۹۶۷۶ |
| $E[W_{Brownian}]$ | ۷/۷۲۲۷۳ | ۵/۴۱۷۳۵ | ۰/۲۷۹۳۶ | ۱/۱۹۶۷۰ | ۵/۰۰۱۳۰ |

**جدول ۲**- معیارهای عملکرد به دست آمده برای شبیه‌سازی.

| i<br>شبیه‌سازی | ۱ | ۲ | ۳ | ۴ | ۵ |
|---|---|---|---|---|---|
| $1/\mu_i$ | ۰/۰۱۲۶۹ | ۰/۰۶۳۴۱ | ۰/۷۹۷۲۳ | ۵/۰۳۲۴۵ | ۸/۱۰۱۴۳ |
| $\rho_i$ | ۰/۹۹۵۵۳ | ۰/۹۷۸۷۰ | ۰/۱۴۷۸۷ | ۰/۷۵۷۱۳ | ۰/۲۰۴۲۶ |
| $C_{s_i}^2$ | ۰/۶۵۸۰۸ | ۰/۶۰۶۰۱ | ۱۴/۰۹۸۱ | ۱/۹۸۹۳۰ | ۲۳/۹۰۶۲ |
| $C_{a_i}^2$ | ۰/۹۵۰۵۸ | ۰/۹۲۱۱۸ | ۱/۰۱۰۸۷ | ۰/۶۸۲۰۷ | ۰/۹۶۲۲۴ |
| $E[W_{Simulation}]$ | ۵/۴۰۱۱۰ | ۳/۴۶۲۱۶ | ۰/۷۹۷۲۳ | ۵/۱۱۹۴۰ | ۸/۱۰۱۴۳ |

از زمان جریان پیشنهاد می‌کند.

میانگین زمان مؤثر سرویس دهی می‌تواند به سه مؤلفه تقسیم شود: ۱- زمان سرویس دهی طبیعی ( $\frac{1}{V_1}$ )، ۲- میانگین زمان صرف شده به دلیل غیبت برنامه‌ریزی نشده ( $\frac{1}{\mu_s}$ ) و ۳- میانگین زمان صرف شده به دلیل وقفه در سرویس دهی ( $\frac{1}{\mu_g}$ ). این پارامترها روی هم، میانگین خدمت رسانی مؤثر می‌باشد که توسط بیمار در یک ایستگاه کاری تجربه می‌شود. نرخ زمان صرف شده در غیبت برابر است با $K_s=\frac{V_1}{n\mu_s}$ . نرخ زمان صرف شده جهت حل و فصل وقفه نیز به صورت:

$$K_f = \frac{T_r}{T_i - T_r}$$

تعریف می‌شود که در این فرمول $T_i$ زمان بین دو وقفهٔ متوالی و $T_r$ زمان مورد نیاز برای حل آن وقفه در فرایند می‌باشد. وقفه‌ها بر روی زمان جریان بیمار با عوامل زیر تأثیر گذارند:

- تعداد وقفه‌ها؛ زمان بین دو وقفهٔ متوالی ($T_i$).
- زمان مورد نیاز برای حل و فصل آن وقفه ($T_r$).
- واریانس زمان حل و فصل آن‌ها.

مشابه وقفه‌ها، تأثیر غیبت بر زمان جریان بیمار به سه عامل بستگی دارد:

- اندازهٔ بازهٔ زمانی ایستگاه کاری که تعداد غیبت‌ها را کنترل می‌کند (n).
- طول زمان غیبت ( $\frac{1}{\mu_s}$ ).
- واریانس زمان غیبت.

به‌منظور بهبود عملکرد، از طریق مصاحبه و همفکری با مدیران و متخصصان بیمارستان سناریوهای مختلفی پیشنهاد شد که به صورت زیر تعریف می‌شوند:

سناریو "۰" مربوط به وضعیت فعلی می‌باشد. سناریو "۱" بر تأثیر تعداد وقفه‌ها، سناریو "۲" بر تأثیر زمان صرف شده در حل وفصل وقفه‌ها، سناریو "۳" بر تأثیر تغییرات زمان حل و فصل (واریانس زمان حل و فصل)، سناریو "۴" بر تأثیر تعداد غیبت، سناریو "۵" بر تأثیر زمان غیبت و سناریو "۶" بر تأثیر تغییرات بار غیبت (واریانس بار غیبت) تمرکز دارند.

یک مقایسهٔ مهم بین سناریوهای مختلف در ارزیابی اثر قطع سرویس، بارگذاری شد که دیدگاه‌های مهم



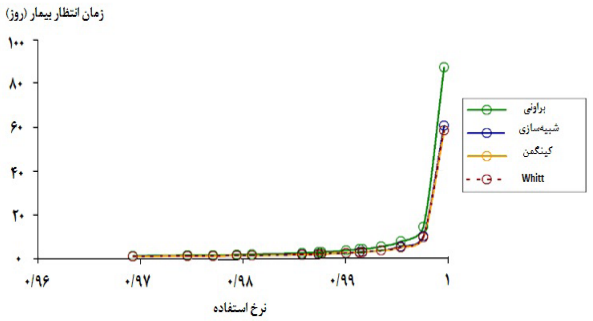
[ Downloaded from shefayekhatam.ir on 2025-11-18 ]
[ DOI: 10.18869/acadpub.shefa.5.2.S1.19 ]

مدیریتی را فراهم می‌کند. مقایسهٔ بین سناریوها بر اساس فاکتورهای زیر می‌باشد:

- میانگین زمان انتظار بیمار($E[w]$).
- نرخ زمان صرف شده در غیبت ($k_s$).
- نرخ زمان صرف شده برای حل و فصل وقفه ($k_f$).
- نرخ بهره‌برداری مؤثر در ایستگاه کاری ($\rho_1$).

قبل از توسعهٔ برخی نتایج عددی، نخست دو نمودار برای نشان دادن اثر قطع سرویس در کل زمان انتظار بیمار داریم. نمودار ۱ و ۲، رابطهٔ بین متوسط زمان جریان بیمار و نرخ استفاده می‌باشد. نمودار ۱، معادلات با نرخ بهره را در مورد طیف وسیعی از مقادیر ممکن در نظر گرفته است. از سوی دیگر نمودار ۲، میزان یک محدودهٔ کوچک را به‌منظور تفاوت بزرگ بین روش‌های مدلسازی را در نظر گرفته است (نمودار ۲ نمایش مفصل‌تری از نمودار ۱ می‌باشد).

نمودار ۱ و ۲ نشان می‌دهند که روش‌های تجزیهٔ پارامتری قادر به ارائهٔ یک تقریب دقیق از بار جریان بیمار در ایستگاه کاری می‌باشد و مدل‌های صف براونی کمتر دقیق می‌باشند. علاوه بر این، هر ۲ نمودار به وضوح رابطهٔ بین نرخ بهره و زمان جریان بیمار را نشان می‌دهند. در سیستم‌های ترافیک سنگین (به‌عنوان مثال اکثر سیستم‌های بیمارستان) نزدیک شدن به ظرفیت سیستم به طور قابل ملاحظه‌ای زمان انتظار را افزایش می‌دهد. برعکس، حتی یک کاهش کوچک در به کارگیری بازده تأثیر قابل توجهی در زمان جریان دارد.



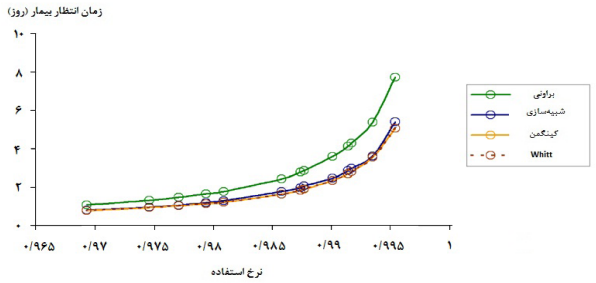

**نمودار ۱**– انتظار بیمار در تابع نرخ بهره (دامنه).

خلاصه‌ای از اندازه‌گیری عملکرد در حالات مختلف و همچنین کسانی که در حالت پایه (سناریو ۰) هستند در جدول ۳ آورده شده است (زمان گردش بیمار در روز بیان شده است).

می‌توان مشاهده کرد که کاهش تعداد وقفه‌ها (سناریو ۱) و کاهش زمان صرف شده در حل و فصل وقفه‌ها (سناریو ۲) کاهش را نتیجه داده است. علاوه بر این قابل ذکر است که کاهش تعداد وقفه‌ها و کاهش زمان صرف شده در حل و فصل وقفه‌ها اثری معادل بر زمان جریان بیمار دارد. هنگامی که کاهش واریانس زمان حل و فصل داریم (سناریو ۳) مشاهده می‌کنیم که هیچ تغییری در نسبت زمان صرف شده در حل و فصل وقفه نداریم. با این وجود، تأثیر در زمان جریان بیمار آشکار است؛ حتی اگر همان مقدار زمان در حل و فصل وقفه‌ها طی شود، کاهش تغییر پذیری زمان حل و فصل باعث بهبود عملکرد می‌شود. هنگامی که نگاهی به سناریوهای ۴ تا ۶ بیندازیم، اثرات مشابهی مشاهده می‌کنیم. تأثیر کاهش اثر غیبت، به هرحال، کمتر صریح است. نسبت زمان صرف شده در غیبت کمتر از زمان صرف شده در حل و فصل وقفه‌ها می‌باشد (یعنی $k_f>k_s$). در نتیجه تمرکز بر تأثیر وقفه، تاثیر بزرگ‌تری در زمان جریان بیمار ایجاد می‌کند.

## بحث و نتیجه‌گیری

در این مقاله با استفاده از انواع روش‌های مدلسازی به بررسی عملکرد (از نظر بار جریان بیمار) در بخش سی سی یو بیمارستان کوثر پرداختیم. نتایج این تحقیق




**نمودار ۲**– انتظار بیمار در تابع نرخ بهره (طیف محدود).

**جدول ۳**– اثر کاهشی تأثیر قطع در زمان جریان بیمار.

| سناریو | ۰ | ۱ | ۲ | ۳ | ۴ | ۵ | ۶ |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| $\rho_1$ | ۰/۹۹۶۶ | ۰/۹۸۸۹ | ۰/۹۸۸۶ | ۰/۹۹۶۶ | ۰/۹۹۴۷ | ۰/۹۹۴۷ | ۰/۹۹۶۶ |
| $K_s$ | ۰/۰۵۷۲ | ۰/۰۵۱۸ | ۰/۰۵۱۸ | ۰/۰۵۱۸ | ۰/۰۴۹۴ | ۰/۰۴۹۴ | ۰/۰۵۱۸ |
| $K_f$ | ۰/۱۷۱۹ | ۰/۱۶۲۵ | ۰/۱۶۲۰ | ۰/۱۷۱۹ | ۰/۱۷۱۹ | ۰/۱۷۱۹ | ۰/۱۷۱۹ |
| $E[W_{Kingman}]$ | ۵/۰۶۰۱ | ۱/۸۹۶۰ | ۱/۸۳۳۵ | ۵/۰۴۰۱ | ۳/۵۴۵۶ | ۳/۵۳۹۵ | ۵/۰۴۶۰ |
| $E[W_{Whitt}]$ | ۵/۰۶۰۳ | ۱/۸۹۶۲ | ۱/۸۳۳۶ | ۵/۰۴۰۳ | ۳/۵۴۵۷ | ۳/۸۳۹۷ | ۵/۰۴۶۲ |
| $E[W_{Brownian}]$ | ۷/۷۲۳۸ | ۲/۸۵۴۰ | ۲/۷۸۱۴ | ۷/۶۵۱۰ | ۵/۳۸۷۹ | ۵/۴۳۲۶ | ۷/۷۲۰۱ |
| $E[W_{Simulation}]$ | ۵/۴۰۲۲ | ۲/۰۵۴۹ | ۱/۹۵۹۶ | ۵/۳۶۴۹ | ۳/۶۲۱۳ | ۳/۸۷۰۲ | ۳/۸۷۰۲ |



[ Downloaded from shefayekhatam.ir on 2025-11-18 ]
[ DOI: 10.18869/acadpub.shefa.5.2.S1.19 ]

نشان می‌دهد که مدل‌های صف مبتنی بر تجزیه نسبت به تقریب حرکت براونی نتایج دقیق‌تری از عملکرد ارائه می‌دهند و به همین دلیل می‌توان از آن‌ها به عنوان یک ابزار ارزشمند برای تجزیه و تحلیل عملکرد بیمارستان استفاده کرد. در این پژوهش سعی شد با استفاده از شبیه‌سازی سناریوهایی برای بهبود عملکرد تعریف و تأثیر آن بررسی شود که مشاهده می‌شود از طریق کاهش تأثیر قطع خدمات (وقفه و غیبت)، مدیریت می‌تواند بدون افت در تعداد بیمار و بدون گسترش ظرفیت، بار جریان را کاهش دهد. اما با توجه به اینکه سناریو ۲ (کاهش زمان صرف شده در حل و فصل وقفه‌ها) بیشترین بهبود را در زمان جریان بیمار ایجاد کرده است، تمرکز بر تأثیر وقفه، تأثیر بیشتری در زمان جریان بیمار ایجاد می‌کند به عبارت دیگر کاهش تعداد وقفه و زمان صرف شده در حل و فصل وقفه، کاهش بیشتری در زمان جریان ایجاد می‌کند. در نتیجه منابع به طور بهینه اختصاص میابند و باعث بهبود عملکرد می‌شود. پیشرفت‌های بالقوه در این زمینه عبارتند از: برون سپاری وظایف اداری که توسط تارکر[۱۲] و همکاران به‌منظور ایجاد خدمات در برابر قطع پیشگیرانهٔ قوی‌تر پیشنهاد داده شد (۲۴)، فیلتر کردن اطلاعات غیر ضروری نسبت به کارکنان پزشکی که توسط والپ[۱۳] و همکارانش پیشنهاد داده شد (۲۵)، شناسایی نیروی انسانی، برنامه‌ریزی و بهبود شیوه‌های قوی جهت به حداقل رساندن اثرات غیبت که توسط استون[۱۴] و همکارانش مطرح شد (۲۶).

پژوهش‌های زیادی در این زمینه صورت گرفته است.

المه داو[۱۵] و همکارانش مدل‌های زنجیرهٔ مارکف را برای سیستم معرفی کردند و برای توزیع‌های احتمال حالت پایدار طول صف و زمان انتظار از روش‌های ماتریس تحلیلی برای حل آن استفاده کردند و از شبیه‌سازی برای اعتبارسنجی مدل استفاده شده است (۲۷).

کوزولسک[۱۶] و وارتینگتون[۱۷] برای ارائهٔ یک تجزیه و تحلیل از عملکرد بیمارستان تحت قوانین سیاسی، مدل زنجیرهٔ مارکف زمان پیوسته و مدل شبیه‌سازی رخداد گسسته را توسعه دادند، آن‌ها از روش تضمین حداکثر زمان انتظار استفاده کردند (۲۸). با توجه به مرور ادبیات انجام شده دیده می‌شود که اکثراً از مدل زنجیرهٔ مارکف استفاده شده است و بیشتر موضوع ظرفیت صف مورد بررسی قرار گرفته است ولی در مدل پیشنهادی ما، تمرکز بر اثر وقفه‌های برنامه‌ریزی شده و غیر برنامه‌ریزی شده و غیبت‌های ناخواسته در بهره‌برداری مؤثر از منابع و زمان جریان بیماران با استفاده از روش تجزیه و همچنین مدل صف براونی می‌باشد که در بخش بهداشت و درمان دیده نشده است و می‌تواند یک روش نو و بدیع در حل این مسئله باشد.

با توجه به درجهٔ بالای ذاتی تنوع در زمان سرویس، بیمارستان‌ها اغلب از برنامهٔ کاری انعطاف پذیری استفاده می‌کنند که برای اضافه کاری، ظرفیت سرور متغیر و سایر انحراف از استاندارد توپولوژی از مدل صف بهره می‌گیرند. اضافه کردن چنین انحرافی به پیچیدگی این مسئله، "زمان" را به مدلسازی مسئله تبدیل می‌کند که می‌تواند موضوع تحقیقات آتی باشد.

## منابع

1. Zhu Z, Sivakumar K, Parasuraman A. “A mathematical model of service failure and recovery strategies”. Decision Sciences. 2004; 35(3): 493–525.

2. Bretthauer K. “Service management”. Decision Sciences. 2004; 35: 325–32.

3. Worthington D. “Queueing models for hospital waiting lists” J Oper Res Soc. 1987; 38(5): 413–22.

4. Cerd`a E, de Pablos L, Rodriguez M. “Waiting lists for surgery”. Nyman MA. Patient flow: reducing delay in healthcare delivery. InMayo Clinic Proceedings. 2007; p. 151–87.

5. Kao E, Tung G. “Bed allocation in a public health care delivery system”. Management Science. 1981; 27(5): 507–20.

6. Green L.“How many hospital beds”. Inquiry. 2003; 39: 400–12.

7. McManus M, Long M, Cooper A, Litvak E. “Queueing theory accurately models the need for critical care resources”. Anesthesiology. 2004; 100: 1271–6.

8. Creemers S. Lambrecht M. Vandaele N. Queueing models in health care. Tijdschrift voor Economie en Management LII. 2007; 3: 471–97.

9. Mokaddis GS, Ismail IA, Metwally SA, Metry KM. Response times for health care system. Journal of Applied Mathematics and Bioinformatics. 2011; 2: 131–46.

10. Karnon J, Mackay M, Mills TM. Mathematical modelling in health care. 18th World Imacs/Modsim Congress. Cairns. Australia. 2009; 13–17.

11. De Bruin AM, Bekker R, Van Zanten L, Koole GM. Dimensioning hospital wards using the Erlang loss model. Ann Oper Res. 2010; 178(1): 23–43.

12.Afsahi M, Sepehri MM, Ameri E. Planning and management of patient flow and bed capacities of cardiac ward with mathematical modeling and discrete event simulation approach. Journal of Hospital. 2015; 14(1): 9–24.

[ Downloaded from shefayekhatam.ir on 2025-11-18 ]

[ DOI: 10.18869/acadpub.shefa.5.2.S1.19 ]

13. Hopp WJ, Spearman ML. Factory Physics. 2nd ed. McGraw-Hill Higher Education. New York. 2000.

14. Whitt W. “Approximations for the GI/G/m queue”. Prod Oper Manag. 1993; 2(2): 114–61.

15. Chen H, Shen X, Yao D. “Brownian approximations of multiclass open-queueing networks”. Oper Res. 2002; 50(6): 1032–49.

16. Jackson J. “Network of waiting lines”. Oper Res. 1957; 5: 518–21.

17. Harrison JM.“Brownian models of queueing networks with heterogenous customer populations”. Stochastic Differential Systems, Stochastic Control Theory and Application. 1988; 10: 147–86.

18. Dai J, Harrison J. “The QNET method for two-moment analysis of closed manufacturing systems.” Ann Appl Probab. 1993; 3: 968–1012.

19. Dai J, Nguyen V, Reiman M. “Sequential bottleneck decomposition: an approximation method for generalized Jackson networks”. Oper Res. 1994; 42: 119–36.

20. Dai J, Yeh D, Zhou C. “The QNET method for re-entrant queueing networks with priority disciplines”. Oper. Res. 1997; 45: 610–23.

21. Kim NK, Chaudhry ML, Kim K, Yong WS. A note on the distributional little,s law for discrete-time queues with D-MAP arrivals and its application. Appl Math Model. 2013; 37(14-15): 7499-503.

22. Law A, Kelton W. Simulation Modeling and analysis. 3rd ed. McGraw-Hill. New York: 2000.

23. Kelton W, Sadowski R, Sturrock D. Simulation with arena. 3rd ed. McGraw-Hill. New York: 2004.

24. Tucker A, Spear S. Operational failures and interruptions in hospital nursing. Health Serv Res. 2006; 41: 643–62.

25. Volpp K, Grande D. Residents’ suggestions for reducing errors in teaching hospitals. N Engl J Med. 2006; 348: 851–5.

26. Easton F, Goodale J. Schedule recovery: unplanned absences in service operations. Decision Sciences. 2005; 36: 459–88.

27. Almehdawe E, Jewkes B, Ming He Q. A markovian queueing model for ambulance offlod delay. Oper Res. 2013; 226(3): 602–14.

28. Kozlowski D, Worthington D. Use of queue modeling in the analysis of elective patient treatment governed by a maximum waiting time policy. Oper Res. 2015; 224(1): 331-8.

[ Downloaded from shefayekhatam.ir on 2025-11-18 ]

[ DOI: 10.18869/acadpub.shefa.5.2.S1.19 ]