مقاله پژوهشی

ارائه مدلی جهت تخصیص بهینه تخت‌های بیمارستان در چارچوب رویکرد صف مارکوفی (مطالعه موردی بیمارستان شهید فقیهی شیراز)

مهدی کبیری نائینی [*۱]، زینب الهی [۲]، ابوالفضل مقیمی اسفندآبادی [۳]

۱ استادیار، گروه مهندسی صنایع، دانشکده فنی مهندسی، دانشگاه پیام نور، یزد، ایران
۲ دانشجوی کارشناسی ارشد مهندسی صنایع، دانشکده فنی مهندسی، دانشگاه پیام نور ، تهران، ایران
۳ مربی، گروه مهندسی صنایع، دانشکده فنی مهندسی، دانشگاه پیام نور، یزد، ایران

* **نویسنده مسؤول:** مهدی کبیری نائینی
m_kabirinaeini@yahoo.com

ارجاع: کبیری نائینی مهدی، الهی زینب، مقیمی اسفندآبادی ابوالفضل. ارائه مدلی جهت تخصیص بهینه تخت‌های بیمارستان در چارچوب رویکرد صف مارکوفی (مطالعه موردی بیمارستان شهید فقیهی شیراز). راهبردهای مدیریت در نظام سلامت ۱۳۹۹؛۶(۱): ۲۷-۱۸.

تاریخ دریافت: ۱۳۹۹/۱۱/۱۲
تاریخ اصلاح نهایی: ۱۴۰۰/۰۳/۰۸
تاریخ پذیرش: ۱۴۰۰/۰۳/۱۰

چکیده

زمینه و هدف: همانطور که در بحران کرونا ملاحظه شد، در مواقعی همچون جنگ، بحران‌های طبیعی و یا بیماری‌های اپیدمیک، شدت ورودی متقاضیان خدمات، تسهیلات درمانی را با مشکل ازدحام مواجه می‌کند. در این وضعیت با توجه به محدودیت ظرفیت سیستم، پدیده صف انتظار متقاضیان خدمت به وجود می‌آید و در برخی موارد عدم پذیرش و رد کردن مراجعان رخ می‌دهد. کاهش مدت زمان بستری بیماران از طریق ارتقاء بهره‌وری عملکرد می‌تواند مسأله کمبود تخت‌های بیمارستانی را جبران کند. به منظور افزایش بهره‌وری پرسنل و تجهیزات، نیاز به حذف بیکاری‌ها و بهبود زمانبندی خدمات می‌باشد. یکی از راه‌های دستیابی به اهداف مذکور، بهینه‌سازی توزیع تخت بین بخش‌هاست. در پژوهش حاضر، در قالب یک مدل صف مارکوفی، با توجه به نرخ ورود مراجعان و نرخ خدمت‌دهی، تخت‌های موجود، به بخش‌های مختلف بیمارستان تخصیص داده می‌شود تا حداکثر خدمت‌دهی و حداقل عدم پذیرش بیماران اتفاق افتد.

روش پژوهش: پژوهش حاضر، پژوهشی کاربردی است که در سال ۱۳۹۷ جهت توزیع بهینه تخت‌ها بین ۳ بخش بیمارستان شهید فقیهی شیراز انجام شد. مسأله پژوهش، در قالب یک مدل مارکوفی صف مدلسازی شد و با فرض ورود مراجعان بر طبق زنجیره مارکوف پیوسته، مقدار پارامترهای مدل شناسایی شد. مدل ریاضی حاصل، توسط نرم افزار GAMS 24.1.3 حل گردید.

یافته‌ها: مدل پیشنهادی، منجر به بهبود در عملکرد بخش‌ها از منظر کاهش زمان انتظار بیماران، و افزایش تعداد بیماران پذیرش شده گردید. مدل ارائه شده، عدم پذیرش بیماران را به میزان ۸/۶ درصد کاهش داد. با توجه به نرخ مراجعه بیماران به بخش‌ها و نرخ خدمت دهی هر بخش، بر مبنای تحلیل حساسیت، تعداد تخت تخصیصی به هر یک از ۳ بخش بیمارستان تعیین شد.

نتیجه‌گیری: نظریه صف می‌تواند به عنوان ابزاری کاربردی برای تحلیل پدیده‌های سیستم درمان و تعیین مشخصه‌های زمان انتظار، طول صف، ظرفیت سیستم و غیره عمل کند. تخصیص مناسب تخت‌ها بین بخش‌های بیمارستان منجر به بهبود کارایی و کاهش عدم پذیرش بیماران می‌شود که این موضوع می‌تواند در مواقع بحرانی و ازدحام مراجعان و نیاز به افزایش امکانات، مؤثر واقع شود.

واژه‌های کلیدی : زنجیره مارکوفی صف، تخصیص تخت، بهینه‌سازی، بیمارستان

[Downloaded from mshsj.ssu.ac.ir on 2026-05-03]
[DOR: 20.1001.1.24766879.1400.6.1.4.2]
[DOI: 10.18502/mshsj.v6i1.6505]

مقدمه

شلوغی بخش‌های بیمارستان یک مشکل شناخته شده در سیستم سلامت است. از آنجا که تعداد مراجعان و میزان تقاضای خدمات درمانی از قبل مشخص نیست، عدم تطابق تقاضا و ظرفیت بعضاً منجر به ازدحام بخش‌ها و عدم پذیرش بیماران می‌شود. سازمان بهداشت جهانی مسأله نارسایی مدیریت منابع را بیش از کمبود منابع در کشورهای در حال توسعه، مهم می‌داند (۱).

در بحران جاری کرونا، مشاهده شد که در برخی دوره‌های پیک بیماری، امکانات موجود جوابگوی حجم مراجعات به بیمارستان‌ها نبود و دولت‌ها به ناچار از امکانات نیروهای نظامی خود بهره گرفتند و به ایجاد تسهیلاتی به شکل نقاهتگاه موقت پرداختند. این رخداد به وضوح اهمیت کارایی در تخصیص منابع بیمارستانی را نشان می‌دهد تا از بیکاری یا استفاده بیش از حد از منابع جلوگیری شود. با توجه به اهمیت مسأله ازدحام تقاضا در بیمارستان، تحقیقات بسیاری با استفاده از مدل‌های تحقیق در عملیات، با به‌کارگیری رویکردهای تحلیلی یا شبیه‌سازی انجام شده است. چوو و همکاران (۲۰۱۱) با هدف ارتقاء کارایی تخصیص تخت در بیمارستانی در کالیفرنیا، با رویکرد شبیه سازی داده‌ها در بازه ۳۶۵ روز، سیاست بهینه را شناسایی کردند (۲). تقوی‌فر و همکاران (۱۳۹۶) در تحقیق خود در بخش اورژانس بیمارستان هاشمی نژاد تهران، با به‌کارگیری مدل صف و رویکرد شبیه‌سازی، به بهبود فرایند خدمت‌دهی و افزایش راندمان دست یافتند (۳). پینتو و همکاران (۲۰۱۵) با توسعه یک مدل شبیه‌سازی-بهینه‌سازی، به مطالعه و تحلیل ویژگی‌های پویایی سیستم و شناسایی تخصیص بهینه تخت‌ها در بیمارستان شهر بلوهریزونت برزیل پرداختند (۴). لوزمن و همکاران (۲۰۱۶) در مطالعه خود با به‌کارگیری الگوریتم فرا ابتکاری، به بررسی تخصیص منابع در بخش اورژانس پرداختند که منجر به کاهش زمان بیکاری پزشکان و پرستاران گردید (۵). مسووی و لانگ (۲۰۱۵) با مدلسازی صف و رویکرد شبیه‌سازی، مسأله تخصیص منابع بیمارستانی را در بخش مراقبت‌های ویژه آمریکا در طی ۱۲ ماه، بررسی کردند (۶).

ووا و همکاران (۲۰۱۷) در مطالعه‌ای به سیاست بهینه تخصیص تخت در بخش اورژانس بیمارستانی در چین پرداختند. آن‌ها یک مدل شبیه سازی تخصیص تخت ۲ مرحله‌ای برای ارزیابی تأثیر تعیین تخت بر احتمال عدم پذیرش بیمار ارائه دادند، که احتمال عدم پذیرش را ۱/۳۲–۸/۹۸ درصد و ۱/۷۴–۴/۱۶ درصد کاهش داد (۷). اولیورا و همکاران (۲۰۲۰)، با استفاده از تکنیک شبیه‌سازی و الگوریتم ژنتیک چند هدفه با مرتب‌سازی نامغلوب (Non–dominated Sorting Genetic Algorithm) در نرم افزار Matlab، مسأله برنامه‌ریزی تخت‌های بیمارستانی را در بخش مراقبت‌های ویژه بیمارستانی در برزیل انجام دادند (۸). آکونا و همکاران (۲۰۲۰)، با استفاده از نظریه بازی‌ها، به منظور کاهش شلوغی و زمان انتظار و زمان درمان بیماران، به تحقیق روی چگونگی تخصیص آمبولانس‌ها در بخش اورژانس بیمارستانی در فلوریدا پرداختند و کارایی را ۳۱ درصد افزایش دادند (۹). بلسینگ و جورنسکو (۲۰۱۶) در مطالعه‌ای در بخش سالمندان بیمارستانی در لندن با استفاده از رویکرد صف برای مدل‌سازی تخصیص بهینه تخت‌ها با استفاده از الگوریتم ژنتیک و آنالیز "چه می‌شود اگر"، دریافتند که با اضافه کردن ۱۵۹ تخت و ۸ کارمند می‌توان عدم پذیرش بیماران را به صفر رساند (۱۰).

رحیمی و همکاران (۱۳۹۱)، با استفاده از مدل تحلیل پوششی داده‌ها، کارایی منابع بیمارستانی در مجموعه بیمارستان‌های منتخب آذربایجان غربی را مورد بررسی قرار دادند (۱۱). جعفرپور و اسکندری (۱۳۹۸)، با به‌کارگیری روش برنامه‌ریزی آرمانی، به مسأله تخصیص تخت‌های بخش اورژانس بیمارستان مدنی تبریز پرداختند (۱۲). عطاالهی و همکاران (۱۳۹۳)، با استفاده از برنامه‌ریزی آرمانی، به مسأله تخصیص بهینه تخت‌ها در بیمارستان شهید محمدی بندرعباس پرداختند (۱۳). ژوو و همکاران (۲۰۱۳) از مدل صف برای تخمین تعداد تخت بخش اورژانس بیمارستانی در چین استفاده کردند (۱۴). بلسینگ و جورنسکو (۲۰۱۴)، با استفاده از مدل صف و الگوریتم ژنتیک، به تخصیص ظرفیت در بیمارستانی در لندن پرداختند (۱۵). فیروزی و آقاجان نژاد (۲۰۱۸)، در بخش مراقبت‌های ویژه قلبی بیمارستان کوثر آستانه اشرفیه گیلان، تخصیص منابع بیمارستانی را مورد مطالعه قرار دادند. در این پژوهش، با استفاده از پرسشنامه و تکنیک شبیه سازی، سناریوهای مختلف بررسی و مقایسه شد (۱۶). فرناز و همکاران (۲۰۱۸)، مدل صف را برای مسأله تخصیص در بیمارستانی در

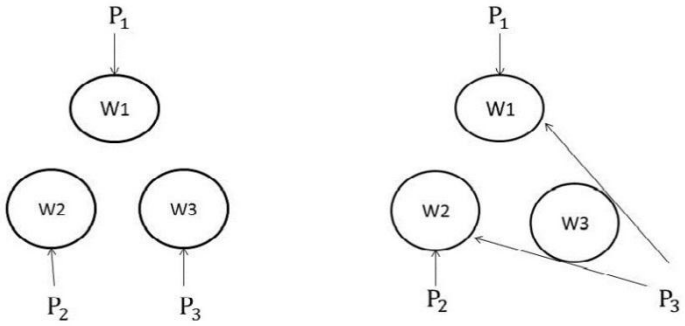
[Downloaded from mshsj.ssu.ac.ir on 2026-05-03]
[DOR: 20.1001.1.24766879.1400.6.1.4.2]
[DOI: 10.18502/mshsj.v6i1.6505]

انگلستان به‌کار بردند (۱۷). خلیلی و همکاران (۲۰۱۸)، با به‌کارگیری مدل صف مارکوفی، مسأله تعداد بهینه تخت‌های بخش اورژانس بیمارستان رازی تربت حیدریه را با رویکرد هزینه مورد بررسی قرار دادند (۱۸).

با توجه به پژوهش‌های پیشین، تخصیص تخت‌های بیمارستانی با مدل صف و رویکرد جایگزینی بیماران صورت نگرفته است. در زنجیره مارکوف سیستم بدون حافظه است و وضعیت آینده سیستم فقط بستگی به وضعیت حال و نه وضعیت گذشته دارد. در این مطالعه مدلی ریاضی با استفاده از رویکرد صف مارکوفی با زمان پیوسته و رویکرد جایگزینی ارائه می‌شود. رویکرد مورد استفاده، توازن سیستم صف در حالت عدم تعادل تقاضا و ظرفیت منابع بیمارستانی را مورد بررسی قرار می‌دهد تا تعداد بیماران پذیرش نشده بخش‌ها از طریق توزیع کارآمد منابع به حداقل برسد.

روش پژوهش

مطالعه حاضر پژوهشی کاربردی است که در سال ۱۳۹۷ در مورد ۳ بخش منتخب بیمارستان شهید فقیهی شیراز با تعداد اولیه ۸۶ تخت، انجام شد. مدل پیشنهادی در قالب یک سیستم صف نمایی M/M/C/C مطرح شد. در مورد بخش (W)، نرخ ورود بیمار و نرخ خدمت‌دهی به ترتیب با λ و μ نشان داده شد. هنگام مراجعه بیمار (P) به بخش، در صورت وجود تخت خالی، بستری انجام می‌شود. در غیر این صورت موقتاً در یک بخش دیگر بیمار بستری می‌شود. عدم امکان پذیرش بیمار توسط یک بخش را بلوکه شدن می‌نامیم. فرض می‌شود N نوع بیمار و N بخش داریم. میزان ظرفیت هر بخش مساوی تعداد خدمت دهنده‌های موازی موجود در آن بخش یعنی تعداد تخت‌ها (C) است بنابراین امکان شکل‌گیری صف وجود ندارد و اگر همه خدمت دهنده‌ها در بخش W مشغول باشند، آن بخش بلوکه می‌شود. در این حالت ورودی‌ها در ایستگاه‌های دیگر توزیع شده و یا عدم پذیرش می‌شوند. این مطلب در شکل ۱ نشان داده شده است.



الف) تمام بخش‌ها در دسترس است　　ب) بخش ۳ بلوکه است

شکل ۱: فرایند بستری شدن ۳ بیمار P_1 و P_2 و P_3 در بخش‌های W_1 و W_2 و W_3

برای مدل‌سازی مسأله از زنجیره مارکوفی صف با زمان پیوسته (CTMC) استفاده شد. از اینرو، (N) نوع بیمار که $i\in(1,2,3,\dots N)$ و (N) نوع بخش $j \in (1,2,3,\dots)$ تعریف شد. جهت مدل سازی تابع تراکم بخش‌های اشغال شده نیز $S=(W_{11},W_{21},\dots,W_{ij},\dots W_{NN})$ یعنی تعداد (W_{ij}) بیماران نوع i که بستری در بخش j است. تعداد تخت‌های اختصاص داده شده برای بخش j را تعیین می‌کند. از اینرو، (M_j) حداکثر میزان بیمارانی است که ممکن است در بخش j بستری شوند.

(f_j) تعداد تخت‌های آزاد در بخش j می‌باشد، بنابراین داریم: $(f_j)=(M_j)-\sum_{i\in I}(w_{ij})$. فضای حالت در رابطه ۱ بیان شده است:

(۱)

$$S=\left\{\begin{bmatrix} W_{11} & W_{12}\cdots & W_{1N} \\ W_{21} & W_{22}\cdots & W_{2N} \\ \vdots & \vdots\ \ddots & \vdots \\ W_{N1} & W_{N2} & W_{NN} \end{bmatrix},(f_1,f_2,f_3,\cdots,f_N)\right\}\epsilon S$$

البته (f_j) عبارت زائد مدل است. نرخ ورود را با (λ_i) نمایش می‌دهیم. نرخ خدمت دهی نیز از تابع توزیع نمایی پیروی

Published by: Shahid Sadoughi University of Medical Sciences
www.mshsj.ssu.ac.ir

[Downloaded from mshsj.ssu.ac.ir on 2026-05-03]
[DOR: 20.1001.1.24766879.1400.6.1.4.2]
[DOI: 10.18502/mshsj.v6i1.6505]

می‌کند و (μ_i) معرف آن است. شکاف بیماران را با نماد $p(f_1, f_2, \dots, f_N)$ نشان می‌دهیم، که در آن (i) نوع بیمار بستری در بخش (j)، همچنین (f_N) به عنوان عملکرد تعداد تخت‌های خالی در کل بخش‌های سیستم معرفی می‌گردد.

(Q) ماتریس انتقال مدل مارکوفی صف با زمان پیوسته می‌باشد که در آن (q_{ss}^*) نرخ انتقال از حالت جاری $s \in S$ به حالت جدید $s^* \in S$ است. بر این اساس $p(f_i = 0, f_j > 0, \dots, f_N > 0)$ که به‌طور خلاصه $p(f_i = 0)$ بیان می‌شود. به طور مشابه داریم: $p(f_i = 0, f_k = 0, f_j > 0, \dots, f_N > 0)$. در نهایت عبارت است از:

$p(f_i = 0, f_k = 0)$.

حالت جدید نیز عبارت است از:

$s^* = (\dots, W_{ij}+1, \dots, f_j - 1, \dots)$ که در آن ورود بیمار i به بخش j معرفی می‌شود و

$$s^* = (\dots, W_{ij} - 1, \dots, f_j + 1, \dots)$$

به جهت مطابقت ترخیص بیان می‌شود. رابطه ۲ نرخ انتقال را بیان می‌کند:

(۲)

$$q_{ss}^* = \begin{cases} \lambda_i & if\ s^* = \left(\dots, w_{ii}+1, \dots, f_i - 1, \dots\right) \\ & and\ f_i > 0 \quad \forall i \in I \\ \lambda_i\, p\left(f_i = 0\right)_{ij} & if\ s^* = \left(\dots, w_{ij}+1, \dots, f_j - 1, \dots\right) \\ & and\ f_i = 0, f_j > 0 \quad \forall i, j \in I, i \neq j \\ \lambda_i\, p\left(f_i = 0, f_k = 0\right)_{ij} & if\ s^* = \left(\dots, w_{ij}+1, \dots, f_j - 1, \dots\right) \\ & and\ f_i = 0, f_k = 0, f_j > 0 \quad \forall i, j, k \in I, i \neq j \neq k \\ . & \\ . & \\ . & \\ \lambda_i\, p\left(f_i = 0, f_k = 0, \dots, f_l = 0\right)_{ij} & if\ s^* = \left(\dots, w_{ij}+1, \dots, f_j - 1, \dots\right) \\ & and\ f_i = 0, f_k = 0, \dots, f_l = 0, f_j > 0 \\ & \forall i, j, k \dots l \in I, i \neq j \neq k \neq \dots \neq l \\ \mu_i\, w_{ij} & if\ s^* = \left(\dots, w_{ij} - 1, \dots, f_j + 1, \dots\right) \\ & and\ w_{ij} > 0 \quad \forall i, j \in I \end{cases}$$

بقیه نرخ انتقال q_{ss}^* صفر است. باید توجه داشت که تفاوت بین زمان درمان و نوع بیمار تعریف حالت محدودیت اجزا برای هر ترکیب بیمار-بخش است. متغیر (W_{ii}) تعداد بیماران بستری اولیه و (W_{ij}) تعداد بیماران بستری ثانویه را مشخص می‌کند. اگر ظرفیت بخش مشخص شده پر باشد، مدل تنها می‌تواند به حالتی که تعداد بیماران بستری ثانویه افزایش می‌یابد، پرش کند. به عنوان مثال اگر $N = 3$ و

$M_1 = 14, M_2 = 20, M_3 = 25, s = (W_{11}, W_{21}, W_{31}, W_{12}, W_{22}, W_{32}, W_{13}, W_{23}, W_{33}) =$
$(5,7,2,7,\ 10,2,10,5,4) \rightarrow s^* = (5,7,2,\mathbf{8},10,2,10,5,4)$

حالت جدید به دلیل اینکه بخش اول پر است، امکان دارد. اما اگر به‌صورت زیر تعریف شود آنگاه:

$s = (5,7,2,7,10,2,10,5,4) \rightarrow$ $s^* = (5,7,2,7,10,2,10,\mathbf{6},4)$

این وضعیت امکان ندارد، چون بخش دوم هنوز ظرفیت‌اش تکمیل نشده است. نرخ انتقال بستگی به تعداد بخش‌های بلوکه شده دارد.

$s = (5,7,2,7,10,2,10,5,4) \rightarrow s^* = (5,7,2,\mathbf{8},10,2,10,5,4)$

در این حالت نرخ انتقال عبارت است از:

$q_{ss}^* = \lambda_1 p(f_1 = 0)_{12}$

که تنها بخش اول بلوکه شده است.

در حالتیکه:

$s = (5,7,2,7,10,2,10,5,10) \rightarrow s^* = (5,7,2,\mathbf{8},10,2,10,5,10)$

نرخ انتقال q_{ss}^* عبارت است از:

$q_{ss}^* = \lambda_1 p(f_1 = 0, f_3 = 0)_{12}$

که در این شرایط بخش‌های اول و سوم بلوکه شده است.

نرخ کلی تعداد فضای حالت S که در مدل مارکوفی صف با زمان پیوسته تولید می‌شود، در رابطه (۳) زیر نمایش داده شده است:

(۳)

$$|s| = \prod_{J=1}^{N} \left(\frac{1}{N!} . \prod_{i=1}^{N} \left(M_j + i \right) \right)$$

[Downloaded from mshsj.ssu.ac.ir on 2026-05-03]
[DOR: 20.1001.1.24766879.1400.6.1.4.2]
[DOI: 10.18502/mshsj.v6i1.6505]

شرایطی را در نظر بگیرید که در آن $N = 3$،
($M_1 = 30$، $M_2 = 26$ و $M_3 = 30$)

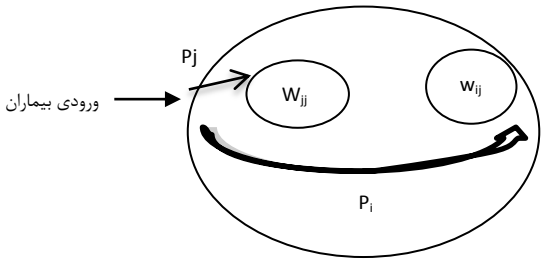
که بر اساس شکل ۱ اندازه فضای حالت برابراست با:
|S| = 108,772,038,144

در این پژوهش از مدل صف M/M/C/C که قابلیت مناسبی جهت توصیف سیستم مورد بررسی دارد، استفاده شد. ظرفیت سیستم صف، مساوی تعداد تخت‌ها در نظر گرفته شد (شکل ۲) که $\Sigma W_{ij} < M_j$ و M_j برابر C است. احتمال تعداد n تخت اشغالی در سیستم از رابطه (۴) به‌دست می‌آید:

(۴)

$$p_n = \frac{\frac{\left(\frac{\lambda}{\mu}\right)^n}{n!}}{\frac{\sum_{i=0}^{c}\left(\frac{\lambda}{\mu}\right)^i}{i!}}$$

λ نرخ ورود و μ نرخ سرویس دهی و c تعداد تخت‌ها در سیستم است.



شکل ۲: روند بستری بیماران در بخش j

مدل ریاضی مسأله یک مدل برنامه ریزی صحیح مختلط است. حل مدل توسط نرم افزار GAMS 24.1.3 تا رسیدن به جواب بهینه انجام گرفت. ضمناً این مطالعه با کد اخلاق IR.YAZD.REC.1399.042 از دانشگاه یزد مورد تایید قرار گرفته است.

یافته‌ها

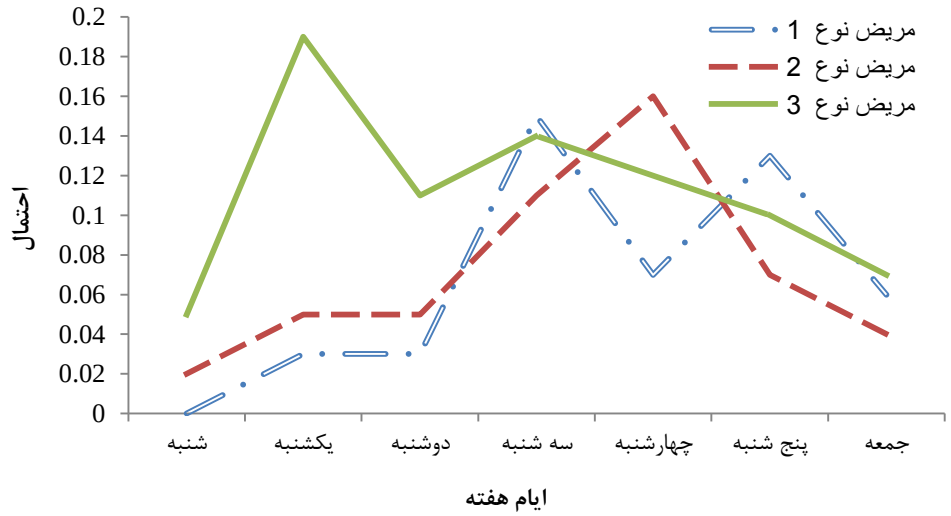
به منظور تعیین پارامترهای مدل، جریان بیماران ۳ بخش بیمارستان مورد مطالعه قرار گرفت. برای محاسبه نرخ ورود، از داده‌های بستری به ازای هر یک از ۳ نوع بیمار در بازه هفتگی استفاده و الگوهای تکراری مشاهده گردید (شکل ۳). مشاهده می‌شود که نرخ ورود در طول آخر هفته افزایش می‌یابد. میانگین نرخ ورود به ترتیب (λ_1 = ۳/۷۸ λ_2 = ۴/۳۸ λ_3 = ۷/۷۸) می‌باشد.

شکل ۳: نرخ ورود در ساعت برای ۳ نوع بیمار

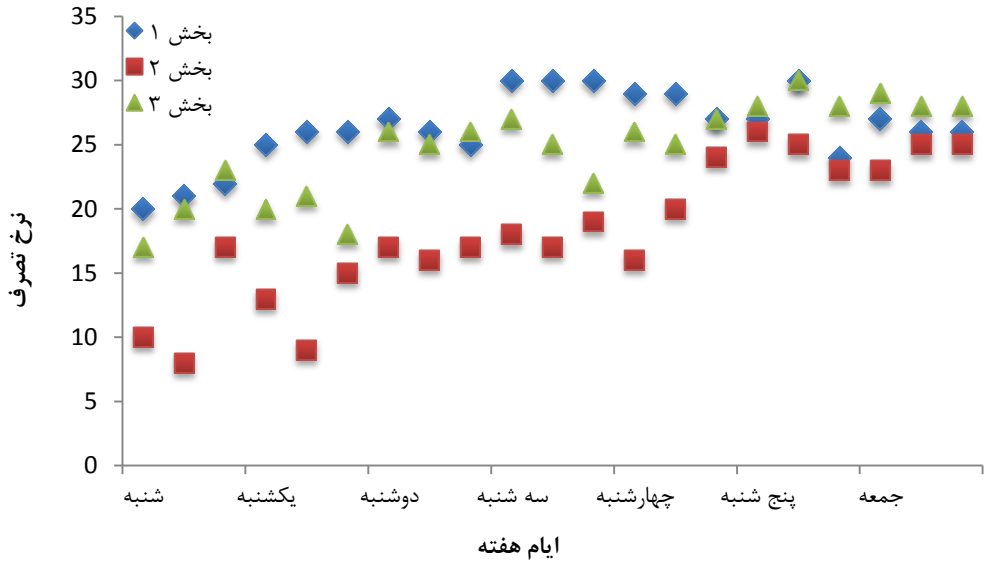
[Downloaded from mshsj.ssu.ac.ir on 2026-05-03]
[DOR: 20.1001.1.24766879.1400.6.1.4.2]
[DOI: 10.18502/mshsj.v6i1.6505]

جهت تعیین نرخ خدمت‌دهی، از مقدار مدت زمان اقامت هر بیمار (Length Of Stay) استفاده شد. زمان اقامت هر بیمار از تفاضل زمان ورود و خروج به‌دست آمد. بنابراین برای هر یک از ۳ نوع بیمار، نرخ خدمت‌دهی به‌صورت ($\mu_i = 1 / LOS_i$) محاسبه شد و به‌صورت میانگین مقادیر ($\mu_1 = 0.06$)، $\mu_2 = 0.11$ و $\mu_3 = 0.25$) به‌دست آمد.

با مشخص شدن نوسانات نرخ ورود طبیعتاً انتظار این نوسانات را در سطوح بیماران بستری شاهد بودیم. شکل ۴ احتمال ترخیص بیمار در زمان (ساعت- هفته) را نشان می‌دهد. طبق مشاهدات، رفتار پیوستگی زمان در اشغال بخش‌ها نتیجه گرفته شد. شکل ۵ تعداد متوسط تخت‌های اشغالی را در هر ۸ ساعت در طول هفته نشان می‌دهد. در شکل ۴، الگوی تکراری افت و خیز در طول روز مشاهده شد، اما سیستم به طور عمده در طی روزهای آخر هفته "فعال" بود.



شکل ۴: احتمال ترخیص بیماران در هفته



شکل ۵: میانگین تعداد تخت‌های اشغال شده در هر بخش

[Downloaded from mshsj.ssu.ac.ir on 2026-05-03]
[DOR: 20.1001.1.24766879.1400.6.1.4.2]
[DOI: 10.18502/mshsj.v6i1.6505]

مدل ریاضی مسأله به شرح زیر است.
نمادهای مدل عبارت است از:
i: تعداد بخش‌ها
λ: نرخ ورود
μ: نرخ خدمت دهی
W: تعداد کل تخت موجود
P(i): احتمال اشغال بودن بخش i
R(i): نرخ بهره وری
X(i): متغیر تصمیم تعداد تخت در بخش i
D(i): هزینه از دست دادن بیمار بخش i
H(i): هزینه نگهداری بیمار(بستری بودن) در بخش i
روابط (۵) تا (۹) بیانگر تابع هدف و محدودیت‌های مسأله است.

رابطه (۵) تابع هدف به ازای مینمم کردن هزینه‌ها است. محدودیت (۶) حداکثر مقدار نرخ بهره وری را بیان می‌کند. محدودیت (۷) مقدار حداقل و حداکثر احتمال اشغال بودن بخش i است. محدودیت (۸) تعداد کل تخت های در دسترس را بیان می‌کند و عبارت (۹) نوع متغیر مسأله را مشخص کرده است.

نتایج مدل برنامه ریزی عدد صحیح مسأله در جدول ۱ نمایش داده شده است. وضعیت اولیه تخصیص تخت بین ۳ بخش بیمارستان در قالب ستون دوم (جاری) آمده است که مقادیر ۳۰ و ۲۶ و ۳۰ تعداد تخت‌های بخش‌ها می‌باشد که در حالت بهینه به مقادیر ۳۴ و ۲۰ و ۳۲ تغییر یافت.

مقادیر پارامترهای مدل و تابع هدف به ازای حالت بهینه محلی در جدول ۲ نشان داده شده است.

$$\min(z) = \sum_i^3 p(i)*R(i)*D(i)*\lambda(i)*X(i) + \sum_i^3 H(i)*\lambda(i)*\mu(i)*(1-R(i))*X(i) \qquad (5)$$

s.t :

$$R(i) <= 20\% \qquad (6)$$

$$85\% <= P(i) <= 95\% \qquad (7)$$

$$\sum_i^3 X(i) = 86 \qquad (8)$$

$$X(i) > 0, \text{integer for i} \qquad (9)$$

جدول ۱: جواب بهینه مثال جاری

بخش	جاری i	بهینه Z_i
۱	۳۰	۳۴
۲	۲۶	۲۰
۳	۳۰	۳۲
F(z)	۴۰۵۰/۶۷۶	۳۸۰۱/۶۸۷

جدول ۲: مقادیر پارامترها

P_1	P_2	P_3	R_1	R_2	R_3	X_1	X_2	X_3	$F^*(z)$
۶۸ درصد	۸۲ درصد	۹۰ درصد	۱۲ درصد	۱۸ درصد	۱ درصد	۳۴	۲۰	۳۲	۳۸۰۱/۶۸۷

بحث

داده‌های این مطالعه مربوط به ۳ بخش از بیمارستان شهید فقیهی است. در این مسیر در مرحله اول، ورود بیماران با استفاده از زنجیره مارکوف مدل‌سازی، و در مرحله دوم، توزیع تخت با استفاده از مدل تحقیق در عملیات توسط نرم افزار GAMS 24.1.3 بهینه شد که مقدار تابع هدف برابر ۳۸۰۱/۶۸۷ = f(z) به‌دست آمد که ۸/۶ درصد کاهش را نشان می‌دهد.

[Downloaded from mshsj.ssu.ac.ir on 2026-05-03]
[DOR: 20.1001.1.24766879.1400.6.1.4.2]
[DOI: 10.18502/mshsj.v6i1.6505]

جعفرپور و جعفری اسکندری (۲۰۱۹) در تحقیق خود، برای تخصیص تخت‌های بخش اورژانس مدل چند هدفه برنامه ریزی تحقیق در عملیات را طراحی کردند. هدف آن‌ها رسیدن به حالت بهینه تعداد تخت‌ها و حداکثر رساندن نیروی انسانی بود تا خدمات بهتری ارائه شود و منجر به رضایت بیماران گردد. ۴ هدف برای این منظور تعیین شد که عبارت است از: حداقل کردن زمان استفاده از تخت توسط بیمار، حداقل کردن مدت زمان انتظار، حداقل کردن تعداد تخت‌های خالی، استفاده حداکثری از پتانسیل نیروی انسانی. حل آن نیز با استفاده از برنامه ریزی آرمانی ۰ و ۱ انجام شد (۱۲). فیروزی جهانتیغ و آقاجان نژاد (۲۰۱۶) مدلی را جهت تخصیص بهینه منابع بیمارستانی ارائه دادند. آن‌ها پرسشنامه-ای را طراحی کردند. مدل سازی مسأله را با استفاده از مدل صف براونی انجام دادند ولی به این نتیجه رسیدند که مدل صف براونی ابزار قابل اعتمادی برای مطالعه سیستم پیچیده بیمارستانی نیست. لذا با طراحی ۶ سناریو جهت اول: کاهش تعداد وقفه ها، دوم: کاهش زمان صرف شده در حل وقفه‌ها، سوم: نسبت زمان صرف شده در حل و فصل وقفه، چهارم: تاثیر تعداد غیبت‌ها ،پنجم: تاثیر زمان غیبت و ششم تاثیر تغییرات غیبت‌ها به کار خود ادامه دادند. آن‌ها تمرکز بر کاهش وقفه‌ها و زمان حل و فصل را منجر به کاهش زمان جریان بیمار یافتند، که تخصیص بهینه منابع را منجر می‌شود (۱۶).

اگرچه مدل‌سازی صف در حوزه سلامت، در پژوهش‌های قبلی صورت گرفته است، ولی از نقاط قوت در پژوهش حاضر، استفاده از مدل صف مارکوفی M/M/C/C است که نزدیک‌ترین و مرتبط‌ترین مدل به سیستم سلامت است. مزیت مدل‌سازی به کمک صف در نظر گرفتن ۲ پارامتر مدت زمان خدمت دهی و نرخ ورود است. اگرچه در حرکت براونی مقادیر در هر زمانی وابسته به مقدار جاری همانند مارکوف است، ولی تغییرات در آن از توزیع نرمال با میانگین ۰ و انحراف استاندارد معادل ۱ پیروی می‌کند. در پژوهش‌های قبلی مفهوم جایگزین کردن بیماران در بخش مناسب به‌کار برده نشده است که در این پژوهش برای رسیدن به تعادل ظرفیت تخت‌ها در سیستم صف مورد بررسی قرار گرفت. توسعه مدل با بیان محدودیت‌های بیشتر مانند هزینه می‌تواند برای رسیدن به مقادیر دقیق‌تر پارامترهای مدل استفاده شود.

نتیجه گیری

در این مطالعه، مدلی ریاضی برای بهینه‌سازی توزیع تخت‌ها ارائه شد. روش ارائه شده منجر به کاهش ۸/۶ درصد تعداد بیماران پذیرش نشده در ورود به بیمارستان شد. همچنین هزینه افزایش تخت‌ها را می‌توان با ارتقاء کمیت و کیفیت خدمات به بیماران جبران کرد.

به عنوان پیشنهاد برای پژوهش‌های آتی می‌توان اثر خطای انسانی را در محاسبه میزان بهینه منابع لحاظ کرد و برای رفع آن مثلاً برنامه آموزش (بیماران و کارکنان) را در نظر گرفت. به منظور استفاده بهینه از تعداد پرستاران و افزایش بهره‌وری ارائه خدمات راهکارهایی چون استفاده از روش تخصیص شغل- منابع و برنامه زمان بندی مناسب پیشنهاد می‌گردد.

سپاسگزاری

بدینوسیله از تمام افرادی که در این پژوهش همکاری داشته‌اند، تشکر و قدردانی می‌گردد.

مشارکت نویسندگان

طراحی پژوهش: الف. م الف

جمع آوری داده ها: ز. الف

تحلیل داده ها: م. ک ن، ز. الف

نگارش و اصلاح مقاله: م. ک ن، ز. الف، الف. م الف

سازمان حمایت کننده

این مطالعه از سوی هیچ سازمانی مورد حمایت مالی قرار نگرفته است.

تعارض منافع

هیچگونه تعارض منافعی از سوی نویسندگان گزارش نشده است.

References

1) Azad E, Ketabi S, Soltani I, Bagherzade M. Analysis of efficiency and resource allocation at different wards in Shariati hospital, Isfahan, Iran using data envelopment analysis. Health Information Management 2012; 8(7): 947. [Persian]
2) Chow VS, Puterman ML, Salehirad N, Huang W, Atkins D. Reducing surgical ward congestion through improved surgical scheduling and uncapacitated

[Downloaded from mshsj.ssu.ac.ir on 2026-05-03]
[DOR: 20.1001.1.24766879.1400.6.1.4.2]
[DOI: 10.18502/mshsj.v6i1.6505]

simulation. Production and Operations Management 2011; 20(3): 418-30.
3) Taghavifard T, Oftadeh M, Aghaei R. Improvement of therapeutic processes in a hospital using simulation and queuing theory (case study: Hasheminezhad hospital emergency room). 2th International conference on industrial management; 2017 April 19-20; Mazandaran, Iran. [persian]
4) Pinto LR, Cardoso de Campos FC, Oliva Perpetuo IH, Neves Marques Barbosa Ribeiro YC. Analysis of hospital bed capacity via queuing theory and simulation. Proceedings of the winter simulation conference; 2014 Dec 7-10; GA, USA. IEEE; 2015: 1281–92. doi: 10.1109/ WSC.2014 .7019984.
5) Luscombe R, Kozan E. Dynamic resource allocation to improve emergency department efficiency in real time. European Journal of Operational Research 2016; 255(2): 593-603.
6) Mathews KS, Long EF. A conceptual framework for improving critical care patient flow and bed use. Annals of the American Thoracic Society 2015; 12(6): 886-94. doi: 10.1513/AnnalsATS.201409-419OC.
7) Wu X, Li L, Bu L, Mohammad TK. A simulation study of blocking effects on patient flow and beds allocation. Industrial Engineering and Management 2017; 22(1): 115–21.
8) Oliveira JA, Vasconcelos JFF, Almeida LR. A simulation-optimisation approach for hospital beds allocation. International Journal of Medical Informatics 2020; 141: 104174. doi: 10.1016/j. ijmedinf.2020.104174.
9) Acuna JA, Zayas-Castro JL, Charkhgard H. Ambulance allocation optimization model for the overcrowding problem in US emergency departments: a case study in Florida. Socio-Economic Planning Sciences 2020; 71: 100747. doi: 10.1016/j.seps. 2019.
10) Belciug S, Gorunescu F. A hybrid genetic algorithm-queuing multi-compartment model for optimizing inpatient bed occupancy and associated costs. Artificial Intelligence in Medicine 2016; 68: 59-69. doi: 10.1016/j.artmed. 2016;03.001.
11) Rahimi B, Yusefzadeh H, Khalesi N, Valinejadi A, Gozali A, Akbari S, Haghighatfard p. Analysis of the efficiency and optimal consumption of resources in selected hospitals in Urmia province through data envelopment analysis. Health Administration 2011; 15(47): 91-102. [Persian]
12) Jafarpour M, Jafari Eskandari M. Goal programming for optimal allocation of hospital beds (case study: emergency department of Shahid Madani hospital in Tabriz). Operational Research and Its Application 2019; 1(60): 131-41. [Persian]
13) Ataelahi F, Bahrami MA, Abesi M, Mobasheri F, Khani Sh. A goal programming model for reallocation of inpatient beds in educational Shahid Mohamadi educational hospital of Bandar Abbas, Iran. Journal of Healthcare Management 2014; 5(1): 59-68. [Persian]
14) Zhu H, Gong J, Tang J. A queuing network analysis model in emergency departments. 25th Chinese control and decision conference (CCDC); 2013 May 25-27; Guiyang, China. IEEE; 2013: 1829-34. doi: 10.1109/CCDC.2013.6561230.
15) Belciug S, Gorunescu F. Improving hospital bed occupancy and resource utilization through queuing modeling and evolutionary computation. Biomedical Informatics 2014; doi: 10.1016/j.jbi.2014.11.010.
16) Firouzi Jahantigh F, Aghajannejad A. A model to improve the allocation of hospital resources using queuing theory. Shefaye Khatam 2017; 5(2): 19-28. [Persian]
17) Fernandez J, McGuire A, Raikou M. Hospital coordination and integration with social care in England: the effect on post-operative length of stay. Journal of Health Economics 2018; 61(1): 233-43. doi: 10.1016/j.jhealeco.2018.02.005.
18) Khalili S, Ghodoosi M, Hassanpour J. The optimal number of hospital beds under uncertainty: a costs management approach. Journal of Optimization in Industrial Engineering 2018; 11(2): 129-38. doi: 10.22094/joie.2017.542.43.

[Downloaded from mshsj.ssu.ac.ir on 2026-05-03]
[DOR: 20.1001.1.24766879.1400.6.1.4.2]
[DOI: 10.18502/mshsj.v6i1.6505]

Manage Strat Health Syst

Research Article

Providing a Model for the Optimal Allocation of Hospital Beds Based on Markov Chain Approach (Case Study: Shiraz-Shahid-Faghihi Hospital)

Mehdi Kabiri Naeini [1*], Zeynab Elahi [2], Abolfazl Moghimi Esfandabadi [3]

[1] Assistant Professor, Department of Industrial Engineering, School of engineering, Payame Noor University, Yazd, Iran
[2] MSc student of Industrial Engineering, School of engineering, Payame Noor University, Tehran, Iran
[3] Tutor, Department of Industrial Engineering, School of engineering, Payame Noor University, Yazd, Iran

* **Corresponding Author:** Mehdi Kabiri Naeini
m_kabirinaeini@yahoo.com

Citation: Kabiri Naeini M, Elahi Z, Moghimi Esfandabadi A. Providing a Model for the Optimal Allocation of Hospital Beds Based on Markov Chain Approach (Case Study: Shiraz-Shahid-Faghihi Hospital). Manage Strat Health Syst 2021; 6(1): 18-27.

Received: January 31, 2021
Revised: May 29, 2021
Accepted: June 01, 2021

Funding: The authors have no support or funding to report.

Competing Interests: The authors have declared that no competing interest exist.

A B S T R A C T

Background: As was observed in the corona crisis, in situations, such as war or natural disasters or epidemic diseases, the intensity of the applicants for medical services causes congestion problems. In this situation, due to the limited capacity of the system, queuing phenomenon for service applicants and in some cases, rejection of clients occur. Reducing the length of hospital stays by improving performance productivity can compensate for the shortage of hospital beds. In order to increase the productivity of personnel and equipment, it is necessary to eliminate unemployment and improve service scheduling. One of the ways to achieve these goals is to optimize the distribution of beds between wards. In the present study, in the form of Markov chain approach, according to the referral rate and service rate, the existing beds were allocated to different wards of the hospital to maximize service and minimize rejection of patients.

Methods: The present study is an applied study conducted in 2019 for the optimal distribution of beds between the 3 wards of Shahid Faghihi Hospital in Shiraz. The research problem was modeled in the form of Markov chain approach and assuming the referral of clients according to the continuous-time Markov chain, the model parameters value was identified. The obtained mathematical model was solved by GAMS $_{24.1.3}$ software.

Results: The proposed model led to an improvement in ward performance in terms of reducing patient waiting time and increasing the number of admitted patients. The proposed model reduced patient rejection by 8.6 %. According to the patients' referral rate to the wards and the service rate of each ward, based on sensitivity analysis, the number of beds allocated to each of the 3 wards was determined.

Conclusion: Queuing theory can be applied as a tool to analyze the phenomena of the treatment system and determine the features of the waiting time, queue length, and capacity of the system. Appropriate allocation of hospital beds results in improving the efficiency and decreasing the patient rejection. Therefore, it could be useful in crisis, congestion in patients, and when increasing facilities is required.

Key words: Markov chain, Bed allocation, Optimization, Hospital

[Downloaded from mshsj.ssu.ac.ir on 2026-05-03]

[DOR: 20.1001.1.24766879.1400.6.1.4.2]
[DOI: 10.18502/mshsj.v6i1.6505]