

## Mathematical Modeling for Bed Allocation in a Military Hospital

Mohamadkarim Bahadori, Ehsan Teymourzadeh\*, Reza Kazemi

*Health Management Research Center, Baqiyatallah University of Medical Sciences, Tehran, Iran*

Received: 15 March 2017 Accepted: 9 June 2017

### Abstract

**Background and Aim:** Nowadays, providing the high quality service and reducing costs, have converted health care industry into a challenging environment for the managers. One of the ways to achieve these goals given the importance of productivity and systems' efficiency, is to optimize the number of facilities. In this regard, the present study aimed at optimizing the bed number of different wards of a military hospital.

**Methods:** This research is a study which utilizes the operations research and mathematical modeling techniques. In This matter firstly, a model assuming no interaction between various wards has been designed and then in the next step another model has been developed without this assumption. To evaluate the models the real life data of a military hospital has been used and ultimately the developed model has been coded and solved in GAMS.24.5.6 software.

**Results:** The results of implementation of first and second models showed that annual costs of the hospital is equal to 372,984,500,0 and 352,984,500,0 Rials respectively, whereas the value for the current situation is 408,408,000,0 Rials per year. Based on importance of reducing costs models have shown the proper efficiency.

**Conclusion:** In general, using mathematical programming for capacity planning has shown high performance capability at any previous studies. It is recommended to apply the models for specialized and general hospitals to allocate the beds into their wards optimally.

---

**Keywords:** Operations Research, Delivery of Healthcare, Decision Support Techniques.

\*Corresponding author: Ehsan Teymourzadeh, Email: [ehsanteymoorzadeh@yahoo.com](mailto:ehsanteymoorzadeh@yahoo.com)

## مدل سازی ریاضی تخصیص تخت در یک بیمارستان نظامی

محمد کریم بهادری، احسان تیمورزاده\*، رضا کاظمی

مرکز تحقیقات مدیریت سلامت، دانشگاه علوم پزشکی بقیه الله (عج)، تهران، ایران

### چکیده

**زمینه و هدف:** امروزه ارائه خدمات با کیفیت و کاهش هزینه ها، صنعت بهداشت و درمان را در سرتاسر جهان تبدیل به یک فضای پر چالش برای مدیران کرده است. یکی از راههای دستیابی به اهداف مذکور با توجه به اهمیت بهره وری و کارایی سیستم ها، بهینه سازی تعداد تجهیزات می باشد. پژوهش حاضر با هدف بهینه سازی تعداد تخت بخش های مختلف یک بیمارستان نظامی توسعه یافته است.

**روش ها:** این پژوهش یک مطالعه پژوهش عملیاتی و مدلسازی ریاضی می باشد. ابتدا مدلی با فرض عدم امکان جابجایی تخت ها میان بخش ها طراحی شده است و سپس در گام بعدی با حذف این فرض مدلی دیگر توسعه داده شده است. جهت ارزیابی مدل ها از داده های یک بیمارستان نظامی بهره گرفته شده است و نهایتاً مدل ها در نرم افزار بهینه سازی GAMS.24.5.6 کدنویسی و حل شده است.

**یافته ها:** نتایج اجرای مدل های اول و دوم مدل ۱ و مدل ۲ به ترتیب ۳,۷۲۹,۸۴۵,۰۰۰ و ۳,۵۲۹,۸۴۵,۰۰۰ ریال هزینه در سال را برای بیمارستان نظامی مورد مطالعه به همراه دارد در حالیکه این رقم برای وضعیت فعلی برابر با ۴,۰۸۴,۰۸۰,۰۰۰ ریال می باشد. تعداد تخت های فعال در سیستم در هر یک از روش های موجود جهت برنامه ریزی ظرفیت بیمارستان نظامی که برگرفته از وضعیت فعلی، مدل ۱ و مدل ۲ می باشند به ترتیب برابر با ۴۳، ۶۵ و ۴۳ تخت می باشد.

**نتیجه گیری:** تعداد تخت های فعلی بیمارستان نظامی مورد مطالعه که برابر با ۶۳ تخت می باشد فاصله نسبتاً زیادی از تعداد بهینه تخت یعنی عدد ۴۳ که خروجی مدل های ۱ و ۲ می باشند، دارد. این تفاوت معنادار در تعداد تخت به علت بالاتر بودن ظرفیت بیمارستان از حالت بهینه می باشد که هزینه هایی همچون هزینه نگهداری بیشتری را به سیستم تحمیل می کند. اگر بیمارستان نظامی از روش های دوم و سوم که به ترتیب خروجی های مدل های ریاضی ۱ و ۲ می باشند استفاده کند می تواند کاهش هزینه ای به ترتیب برابر با ۳۵۴,۲۳۵ و ۵۵۴,۲۳۵ هزار ریال در سال را برای سیستم به همراه داشته باشد.

**کلیدواژه ها:** تحقیق در عملیات، خدمات بهداشت و درمان، تکنیک های پشتیبان تصمیم گیری.

\*نویسنده مسئول: احسان تیمورزاده. پست الکترونیک: [ehsanteymoorzadeh@yahoo.com](mailto:ehsanteymoorzadeh@yahoo.com)

دریافت مقاله: ۱۳۹۵/۱۲/۲۵ پذیرش مقاله: ۱۳۹۶/۰۳/۱۹

## مقدمه

با استفاده از برنامه ریزی ظرفیت در یک بیمارستان که یکی از ارکان مهم آن تعیین تعداد تخت ها می باشد، می توان اولین گام ها در جهت ارتقای کارایی و بهره وری در محیط بیمارستان را به طور مؤثر برداشت. اساسی ترین معیار ظرفیت یک بیمارستان، تعداد تخت های موجود جهت بیماران بستری می باشد. تخت های دیگری نیز در بیمارستان ها وجود دارند که مربوط به بیماران سرپایی می باشند که در برنامه ریزی ها و تصمیم گیری های بلند مدت دارای اهمیت کمتری هستند. تصمیم گیری های مربوط به تعداد تخت های بیمارستان به طور سنتی بر اساس سطوح هدف اشغال تخت (میانگین درصد تخت های اشغال شده) صورت می پذیرد. به طور معمول سطح هدف اشغال تخت که بیشترین مورد استفاده را دارد، ۸۵ درصد می باشد (۳-۱). لازم به ذکر است که روش برآورد کردن تعداد تخت های یک مرکز درمانی بر اساس شاخص هایی همچون میانگین زمان اشغال تخت، نا کارآمدی خود را در مطالعات و تحقیقات نشان داده اند زیرا که بسیاری از دیگر فاکتورهای مؤثر و محدودیت ها در اینگونه برآوردها مدنظر قرار نمی گیرند. لذا در این مطالعه سعی شده است تا با بهره گیری از برنامه ریزی ریاضی به بهینه سازی تعداد تخت های بیمارستان مورد نظر پرداخته شود. همانطور که بیان شد تعداد تخت های یک بیمارستان یکی از اصلی ترین مشخصه های آن به شمار می آید. دلیل این امر آن است که پس از پی بردن به این کمیت اساسی می توان جهت سایر منابع مربوطه نظیر تعداد پرسنل و تجهیزات برنامه ریزی و تصمیم گیری نمود.

تاکنون تحقیقات گسترده ای در خصوص مدیریت بیمارستان و بهینه سازی منابع و بهره گیری از تکنیک های کمی در حوزه خدمات بهداشت و درمان در سطح بین المللی صورت گرفته است. Rais و Viana بخش های مورد مطالعه در زمینه بهداشت و درمان را از لحاظ کاربردی مورد بحث قرار داده اند. در مطالعه صورت گرفته به وضوح از نقش روز افزون بهینه سازی در مسائل عملیاتی بیمارستان ها در سه دهه اخیر صحبت به میان می آید و دلیل این امر نیز افزایش سن جوامع و کاهش نرخ تولد و در حقیقت پیر شدن جوامع بیان شده است (۴). Brailsford و Vissers از اعضای یک گروه پژوهشی اروپایی می باشند که تحت نظر و همکاری جوامع تحقیق در عملیاتی در قاره اروپا به بررسی مسائل کاربردی و به کار گرفته شده این علم می پردازند. آن ها یک تحلیل کمی از تمامی مقالاتی که در جلسات گروه نامبرده از بدو پیدایشش بررسی شده، ارائه داده اند و در انتها رشد و توسعه صورت یافته در گذر این پرپود زمانی را در عرصه به کارگیری رویکرد ها و روش های تحقیق در عملیات در بهداشت و درمان بررسی کرده اند و سپس یک نمای کلی از زمینه های کاربردی و چالش ها ارائه می دهند (۵). Hulshof و همکاران یک شمای جامع و فراگیر از تصمیمات نوعی و روزمره در زمینه برنامه ریزی ظرفیت منابع و

کنترل در بهداشت و درمان و همچنین یک مرور نظام مند از مقالات حوزه تحقیق در عملیات و علوم مدیریت که مرتبط با تصمیمات برنامه ریزی شده است، ارائه داده اند. تلاش آنها در این مقاله شامل ۲ بخش می باشد. در بخش اول جهت بررسی تصمیمات مربوط به برنامه ریزی یک تاکسونومی (Taxonomy) ارائه شده است. این تاکسونومی برای محققان و مدیران مراکز درمانی، روشی را برای شناسایی و دسته بندی تصمیمات برنامه ریزی و کنترلی مهیا می کند. سپس در بخش دوم بر مبنای بخش اول، مشخصات و محدوده ای بزرگ و عظیم از تصمیمات مربوط به برنامه ریزی ظرفیت منابع و کنترل در مورد ۶ سرویس بهداشت و درمان ارائه کرده اند (۶). Karnon و همکاران شرایط متفاوت و مختلف مدلسازی ریاضی را در مطالعه خود مورد بحث و بررسی قرار داده اند و همچنین افزایش بهره وری سازمان های ارائه دهنده خدمات درمانی در اثر استفاده از مدل های ریاضی را به خوبی نشان داده اند (۷). Smith-Daniels و همکاران در مطالعه خود از پایه ای ترین دلایل تغییرات گسترده در صنعت بهداشت و درمان مثل افزایش رقابت و هزینه های نگهداری بالا سخن به میان آورده اند و سعی در مرور و دسته بندی و آنالیز تحقیقات صورت گرفته پیشین دارند که آن را به منبع مناسبی جهت پیدا کردن یک دید کلی و اصولی نسبت به کاربرد علم تحقیق در عملیات در زمینه مربوطه تبدیل کرده است (۸). Green و Savin یک مدل تئوری صف ساده با یک سرویس دهنده ارائه کرده اند و سپس با در نظر گرفتن نحوه توزیع و ورود بیماران چه به صورت قطعی و چه به صورت احتمالی، به مقایسه نتایج دو روش در مطالعه خود پرداخته اند و بیان می کنند که تحقیق در عملیات در این حوزه چقدر می تواند به ایجاد بینش استراتژیک، به مدیران یاری برساند (۹). Ma و Demeulemeester مدل ریاضی یکپارچه چند مرحله ای را بر اساس مدلسازی ریاضی و شبیه سازی توسعه داده اند. در ادامه چند سیاست مؤثر عملیاتی را پیشنهاد و آنالیز کرده اند تا تبادل بهتری میان کارایی منابع و سطح سرویس برقرار گردد (۱۰). Griffiths و همکاران در مدل ریاضی که ارائه داده اند به چگونگی بهبود در مدیریت تخت از طریق ایجاد تمایز میان بیماران اورژانسی و بیماران معمولی پرداخته اند. تفاوت اصلی این پژوهش با سایر مطالعات پیشین این امر می باشد که وابستگی فرآیندهای بیمارستانی به زمان را به خوبی در نظر گرفته اند (۱۱). Bastian و همکاران یک ابزار پشتیبان تصمیم گیری را برای تصمیم گیرندگان شامل مدیران بهداشت و درمان و سیاست گذاران تدوین کرده اند که به وسیله آن می توانند تخصیص مجدد منابع در سیستم های بزرگ و عظیم را انجام دهند (۱۲). Williams و Tai در مطالعه خود تحت عنوان مدیریت خط تولید برای سیستم بهداشت و درمان، با استفاده از ماتریس های مختلفی که شامل میزان مصرف تجهیزات هر یک از بخش ها و سرویس ها از منابع موجود در یک سیستم بیمارستان می باشد، به کمیت مناسب برای تعداد تخت ها

۲- انواع سرویس، یعنی نوع عملیات درمانی که در بیمارستان صورت می پذیرد، مشخص است. در حقیقت با واضح بودن انواع سرویس، می توان بیماران (مراجعی) به بیمارستان را نیز مشخص کرد. البته لازم به ذکر می باشد که در این پژوهش فقط بیمارانی که اصطلاحاً به آنها واژه Inpatient اطلاق می شود در نظر گرفته شده اند. طبق تعاریف موجود واژه مذکور مربوط به بیمارانی می شود که با دستور پزشک و به صورت غیراورژانسی مورد درمان و سرویس دهی قرار می گیرند و در بیمارستان بستری می شوند. باید توجه داشت که برای این دسته از بیماران که در مقابل حالت بیماران Outpatient قرار دارند می توان برنامه ریزی دقیق تر و مطلوب تری نمود. به همین دلیل بخش اورژانس در داخل فضای مدل قرار نگرفته است. در بیمارستان نظامی مورد مطالعه ۷ سرویس وجود دارد.

۳- بخش هایی که نیاز به تخت در آنها وجود دارد مشخص است.

۴- برآوردی از میانگین تقاضا برای هر سرویسی که نیازمند تخت می باشد در طول دوره های مختلف از افق برنامه ریزی موجود می باشد.

۵- هزینه خرید هر نوع تخت جدید و هزینه های خدماتی مربوطه (هزینه های نگهداری و تعمیرات) آن ها مشخص می باشد.

۶- سقف بودجه برای کل طول افق برنامه ریزی معین می باشد.

۷- تمامی تغییرات مربوط به جابه جایی و یا خرید تخت ها در ابتدای هر دوره برنامه ریزی صورت می پذیرد.

۸- مقدار موجودی (انبار) هر نوع تخت در ابتدای افق برنامه ریزی برابر صفر می باشد.

۹- جابجایی تخت ها میان بخش ها امکان پذیر نیست. اندیس ها و مجموعه ها، پارامترها و متغیرهای تصمیم مدل ریاضی به شرح جداول ۱ الی ۳ می باشند.

و سایر تجهیزات دست یافته اند (۱۳). Akcali و همکاران مدل برنامه ریزی عدد صحیح غیرخطی را جهت مینیمم کردن مجموع میانگین هزینه انتظار بیماران برای گرفتن سرویس، هزینه تغییرات در تعداد تخت ها (کم یا زیاد شدن تعداد تخت ها) و هزینه های عملیاتی در طول افق برنامه ریزی ارائه داده اند. لازم به ذکر است که مدل آن ها از سری مدل های ریاضی احتمالی می باشد (۱۴). در پژوهش حاضر هدف تعیین تعداد بهینه تخت در بخش های مختلف یک بیمارستان نظامی با توجه به در نظر گرفتن محدودیت هایی همچون تقاضا و بودجه می باشد. ضرورت و اهمیت چنین مطالعه ای این امر می باشد که تعداد تخت های هر بیمارستان و مرکز درمانی اصلی ترین مشخصه آن می باشد چرا که با مشخص شدن ظرفیت (تعداد تخت) بهینه با توجه به شرایط مالی و تقاضا، زمینه جهت تصمیم گیری در مورد سایر مسائل کمی مورد بحث در اینگونه سیستم ها همچون تعداد تجهیزات و نیروی انسانی مورد نیاز میسر می گردد.

## روش ها

بنا به ذات مسائل مدلسازی ریاضی در علم تحقیق در عملیات، نوع مطالعه و روش تحقیق به صورت توصیفی-کمی می باشد. به طور کلی مدل ریاضی طراحی شده در این پژوهش برای پوشش دادن فضای یک بیمارستان تخصصی قلب نظامی بسط داده شده است. لذا جهت تعیین پارامترهای کلیدی مطالعات میدانی شامل برگزاری جلساتی با مسئولین امر صورت گرفت که در آنها با استفاده از بحث و گفتگو به این پارامترها دسترسی پیدا شده است. بنابراین مراجعین (بیماران)، سرویس ها و بخش ها و ... جزو جامعه مورد مطالعه قرار گرفته اند. با توجه به شناخت کلی سیستم، فرضیات مدل به شرح زیر تعریف شده اند:

۱- افق برنامه ریزی مشخص می باشد. همچنین جهت افزایش دقت مدل، طول افق برنامه ریزی به مقاطع مختلف تقسیم می گردد. (طول افق برنامه ریزی برابر با یک سال می باشد که به ۴ دوره ۳ ماهه تقسیم بندی شده است).

جدول-۱. اندیس ها و مجموعه های مدل ریاضی

اندیس ها و مجموعه های مدل	تعریف
W	مجموعه تمام بخش(تخت)های بیمارستان
w	اندیس بخش(تخت) بیمارستان
S	مجموعه تمام سرویس ها
S	اندیس سرویس
T	مجموعه تمام دوره های برنامه ریزی
T	اندیس دوره برنامه ریزی
Sw	مجموعه سرویس هایی که در بخش w ارائه می شوند
Ws	مجموعه بخش هایی که در پروسه تکمیل سرویس s وجود دارند

جدول-۲. پارامترهای مدل ریاضی

پارامترهای مدل	تعریف
$B_t$	بودجه تخصیص یافته بیمارستان جهت توسعه (خرید تخت) در دوره زمانی $t$
$C_{wt}$	هزینه خرید تخت موجود در بخش $W$ پریود $t$
$H_{wt}$	هزینه نگهداری (عملیاتی) تخت در بخش $W$ پریود $t$
$D_{st}$	میانگین تقاضای سرویس $S$ در دوره $t$
$ALOS_{sw}$	متوسط زمان بستری بودن بیمار (بر حسب روز) در بخش $W$ جهت استفاده از سرویس $S$
$P_w$	موجودی ابتدایی (انبار) تخت در بخش $W$
$N_w$	تعداد تخت در بخش $W$ در ابتدای برنامه ریزی (ظرفیت فعلی بیمارستان)
$K_t$	تعداد روزهای کاری در هر دوره برنامه ریزی (زمان در دسترس)

جدول-۳. متغیرهای تصمیم مدل ریاضی

متغیرهای تصمیم مدل	تعریف
$X_{wt}$	تعداد مورد نیاز تخت در بخش $W$ در دوره $t$
$X^+_{wt}$	تعداد تخت اضافه شده به بخش $W$ از انبار در دوره $t$ نسبت به پریود $t-1$
$X^-_{wt}$	تعداد تخت کاهش یافته از بخش $W$ و ورودی به انبار در دوره $t$ نسبت به پریود $t-1$
$Y_{wt}$	تعداد تخت خریداری شده برای بخش $W$ در دوره $t$
$I_{wt}$	تعداد موجودی انبار تخت بخش $W$ در پریود $t$

مدل ریاضی طراحی شده:

$$MinZ = \sum_{w \in W} \sum_{t \in T} H_{wt} \cdot X_{wt} + \sum_{w \in W} \sum_{t \in T} C_{wt} \cdot Y_{wt} \quad (1)$$

Subject to:

$$X_{wt} = N_w, \forall t \in T, t = 0, w \in W \quad (2)$$

$$X_{wt-1} + X^+_{wt} - X^-_{wt} + Y_{wt} = X_{wt}, \forall t \in T, t \geq 1, w \in W \quad (3)$$

$$I_{wt-1} + X^-_{wt} - X^+_{wt} = I_{wt}, \forall t \in T, t \geq 1, w \in W \quad (4)$$

$$\sum_{w \in W} C_{wt} \cdot Y_{wt} \leq B_t, \forall t \in T \quad (5)$$

$$K_t \cdot X_{wt} \geq \sum_{s \in S_w} ALOS_{sw} \cdot D_{st}, \forall t \in T, t \geq 1, w \in W_s \quad (6)$$

$$I_{wt} = P_w, \forall t \in T, t = 0, w \in W \quad (7)$$

$$X_{wt}, X^+_{wt}, X^-_{wt}, Y_{wt}, I_{wt} \geq 0, \in Integer \quad (8)$$

مدل-۱. مدل ریاضی با فرض عدم امکان جابجایی تخت میان بخش ها

متوالی می باشد. این رابطه بیان می کند که تعداد تخت در بخش مورد نیاز  $W$  در هر دوره برنامه ریزی برابر با متغیر متناظر آن در دوره پیشین بعلاوه تعداد افزایش یافته (خرید یا استفاده از انبار) یا کاهش یافته آن در دوره فعلی می باشد. عبارت (۴) بیانگر رابطه میان متغیر موجودی (انبار) هر بخش در ۲ دوره برنامه ریزی متوالی می باشد. عبارت (۵) که محدودیت بودجه نام دارد بیان می کند که در هر دوره برنامه ریزی، مجموع هزینه های مربوط به خرید انواع تخت ها یازای تمامی بخش ها نباید از بودجه تخصیص یافته به خریدهها در آن دوره برنامه ریزی تجاوز نماید. عبارت (۶)

همانطور که در عبارت (۱) ملاحظه می شود تابع هدف مدل دارای ۲ جمله می باشد که بیانگر مجموع هزینه های عملیاتی (شامل هزینه های مسقیم و نگهداری و تعمیرات تخت ها) و هزینه های توسعه تخت ها جهت سرویس دهی مناسب تر بیمارستان می باشد. عبارت (۲) بیانگر ظرفیت ابتدایی سیستم از تخت در هر بخش می باشد. در حقیقت این محدودیت بیان می کند که تعداد تخت های موجود در بخش  $W$  بیمارستان در ابتدای افق برنامه ریزی یعنی  $t = 0$  به چه میزان می باشند. عبارت (۳) بیانگر رابطه بین متغیر تعداد تخت مورد نیاز در بخش  $W$  در ۲ دوره برنامه ریزی

می باشد، تضمین می نماید که تمامی متغیرهای مدل متغیرهای عدد صحیح باشند و مقادیری مثبت به خود بگیرند. در این بخش مدل ابتدایی که مربوط به شرایطی است که در هر بخش بیمارستان تنها یک نوع تخت وجود دارد به پایان می رسد.

مدل توسعه یافته:

مدل توسعه یافته شامل تغییراتی در اندیس ها و مجموعه ها، پارامترها و متغیرهای تصمیم و در نتیجه در مدل ریاضی می باشد که به شرح جدول-۴ می باشند (از تکرار مواردی که تغییری نکرده اند، خودداری شده است).

بیانگر محدودیت تقاضا می باشد. در این رابطه با در نظر گرفتن میانگین تعداد تقاضا برای هر سرویس  $s$  در هر دوره برنامه ریزی  $t$  و میانگین زمان بستری بودن بیمار یازای آن سرویس در بخش  $w$  ای که سرویس  $s$  برای تکمیل روندش از آن استفاده می کند از یک سو و با در نظر گرفتن زمان در دسترس یعنی تعداد روزهای کاری هر پرپود زمانی رابطه را طوری برقرار می کند که تقاضا ارضاء گردد. عبارت (۷) بیان می کند که تعداد موجودی (انبار) هر تخت هر بخش در ابتدای افق برنامه ریزی ( $t=0$ ) برابر چه مقداری می باشد. عبارت (۸) که مرتبط با ماهیت و جنس متغیرهای مدل

جدول-۴. اندیس ها و مجموعه ها، پارامترها و متغیرهای تصمیم مربوط به مدل ریاضی توسعه یافته

اندیس ها و مجموعه ها، پارامترها و متغیرهای تصمیم مدل توسعه یافته	تعریف
J	مجموعه تمامی انواع تخت ها
J	اندیس نوع تخت
$W_j$	مجموعه تمامی بخش هایی که تخت نوع $j$ در آنها وجود دارد
$C_{jt}$	هزینه خرید تخت $j$ در پرپود $t$
$H_{jt}$	هزینه نگهداری (عملیاتی) تخت $j$ در پرپود $t$
$ALOS_{jsw}$	متوسط زمان بستری بودن بیمار (بر حسب روز) در تخت $j$ و در بخش $w$ جهت استفاده از سرویس $s$
$N_{jw}$	تعداد تخت $j$ در بخش $w$ در ابتدای افق برنامه ریزی (ظرفیت فعلی بیمارستان)
$X_{jw,t}$	تعداد مورد نیاز تخت $j$ در بخش $w$ در پرپود $t$
$X_{jw,t}^+$	تعداد تخت $j$ اضافه شده به بخش $w$ از انبار در پرپود $t$ نسبت به پرپود $t-1$
$X_{jw,t}^-$	تعداد تخت $j$ کاهش یافته از بخش $w$ و ورودی به انبار در پرپود $t$ نسبت به پرپود $t-1$
$Y_{jw,t}$	تعداد تخت $j$ خریداری شده برای بخش $w$ در پرپود $t$
$I_{jt}$	تعداد موجودی انبار تخت $j$ در پرپود $t$

$$MinZ = \sum_{j \in J} \sum_{w \in W_j} \sum_{t \in T} H_{jt} \cdot X_{jw,t} + \sum_{j \in J} \sum_{w \in W_j} \sum_{t \in T} C_{jt} \cdot Y_{jw,t} \quad (9)$$

Subject to:

$$X_{jw,t} = N_{jw}, \forall t \in T, t = 0, w \in W_j, j \in J \quad (10)$$

$$X_{jw,t-1} + X_{jw,t}^+ - X_{jw,t}^- + Y_{jw,t} = X_{jw,t}, \forall t \in T, t \geq 1, w \in W_j, j \in J \quad (11)$$

$$I_{j,t-1} + \sum_{w \in W_j} X_{jw,t}^- - \sum_{w \in W_j} X_{jw,t}^+ = I_{jt}, \forall t \in T, t \geq 1, j \in J \quad (12)$$

$$\sum_{j \in J} \sum_{w \in W_j} C_{jt} \cdot Y_{jw,t} \leq B_t, \forall t \in T \quad (13)$$

$$K_t \cdot X_{jw,t} \geq \sum_{s \in S_w} ALOS_{jsw} \cdot D_{st}, \forall t \in T, t \geq 1, w \in W_j, j \in J \quad (14)$$

$$I_{jt} = P_j, \forall t \in T, t = 0, j \in J \quad (15)$$

$$X_{jw,t}, X_{jw,t}^+, X_{jw,t}^-, Y_{jw,t}, I_{jt} \geq 0, \in Integer \quad (16)$$

مدل-۲. مدل ریاضی با فرض امکان جابجایی تخت میان بخش ها (مدل توسعه یافته)

در مدل توسعه یافته تمامی روابط (۹-۱۶) متناظر روابط (۲-۸) در مدل ابتدایی می باشند ولی تفاوت آنها در در نظر گرفته شدن مجزای موجودیت های تخت و بخش در مدل توسعه یافته می باشد.

## نتایج

پس از طراحی، مدل های ریاضی در نرم افزار بهینه سازی GAMS.24.5.6 کدنویسی و با استفاده از داده های جمع آوری شده از بیمارستان نظامی مورد مطالعه، حل شده اند و نتایج حاصل در جداول ۵-۶ و ۷ آمده است. این نتایج بدست آمده مربوط به متغیرهای تعداد تخت ها در دوره های مختلف و همچنین موجودی انبارها می باشند. سپس خلاصه نتایجی که می توان از خروجی های ۲ مدل جهت تخصیص تخت های بیمارستان نظامی بدست آورد در جدول ۸- و نمودار ۱- آمده است. با توجه به جدول ۸- استفاده از روش اول (وضعیت فعلی) با تعداد ۶۵ تخت فعال هزینه کلی برابر با ۴,۰۸۴,۰۸۰ هزار ریال و استفاده از روش دوم (مدل اول) با تعداد ۴۳ تخت فعال هزینه کلی برابر با ۳,۷۲۹,۸۴۵ هزار ریال و در نهایت استفاده از روش سوم (مدل دوم) هزینه کلی برابر با ۳,۵۲۹,۸۴۵ هزار ریال را برای سیستم به همراه داشت. شایان

ذکر است که اگر روش های دوم و سوم به کار گرفته شوند به ترتیب ۳۵۴,۲۳۵ و ۵۵۴,۲۳۵ هزار ریال کاهش هزینه نسبت به روش فعلی را در بر خواهند داشت. در نمودار ۱- هزینه های نگهداری، توسعه و در نهایت مجموع این ۲ هزینه جهت استفاده از هر یک از روش های اداره بیمارستان نظامی شامل روش فعلی (بدون تغییر)، استفاده از مدل اول و استفاده از مدل دوم آمده است.

## بحث

با شرایط موجود بهره گیری از نتایج بدست آمده در بخش نتایج که در جداول ۵-۶، ۷ و ۸ و همچنین نمودار ۱- آمده است، ۳ روش و حالت جهت تخصیص تخت های بیمارستان نظامی وجود خواهد داشت که در ادامه مورد بررسی قرار گرفته اند.

۱- اگر مجموعه و سیستم بیمارستان نظامی با روش و شرایط فعلی روند کاری اش را ادامه دهد کلیه هزینه ها مربوط به بخش نگهداری و تعمیرات تخت ها می باشد که هزینه ای برابر با ۴,۰۸۴,۰۸۰,۰۰۰ ریال در طول افق برنامه ریزی یکساله را به همراه خواهد داشت. در این حالت هیچ گونه افزایشی در کارایی و کیفیت سیستم رخ نخواهد داد و همچنان هزینه های اضافی گریبانگیر سیستم خواهد بود.

جدول ۵- خروجی مدل ریاضی اول (مقدار بهینه مربوط به متغیرهای تعداد تخت در بخش های مختلف)

	t=0							t=1						
	بخش بانوان	بخش آقایان	اتاق عمل	بخش بانوان	بخش آقایان	اتاق عمل	الکترو فیزیولوژی	ICU	CCU آقایان	CCU بانوان	بخش آقایان	بخش بانوان		
X <sub>wt</sub>	۶	۶	۱	۱۶	۲۳	۱	۴	۴	۱۱	۱۱	۶	۶		
X <sup>+</sup> <sub>wt</sub>	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰		
X <sup>-</sup> <sub>wt</sub>	۱۰	۱۷	۲	۰	۰	۲	۰	۶	۰	۰	۱۷	۱۰		
Y <sub>wt</sub>	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۲	۰	۵	۶	۰	۰		
I <sub>wt</sub>	۱۰	۱۷	۲	۰	۰	۲	۰	۶	۰	۰	۱۷	۱۰		

	t=2							t=3						
	بخش بانوان	بخش آقایان	اتاق عمل	بخش بانوان	بخش آقایان	اتاق عمل	الکترو فیزیولوژی	ICU	CCU آقایان	CCU بانوان	بخش آقایان	بخش بانوان		
X <sub>wt</sub>	۶	۶	۱	۶	۶	۱	۴	۴	۱۱	۱۱	۶	۶		
X <sup>+</sup> <sub>wt</sub>	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۱	۱	۰	۰		
X <sup>-</sup> <sub>wt</sub>	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰		
Y <sub>wt</sub>	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰		
I <sub>wt</sub>	۱۰	۱۷	۲	۱۰	۱۷	۲	۰	۶	۰	۰	۱۷	۱۰		

	t=4						
	بخش بانوان	بخش آقایان	اتاق عمل	بخش بانوان	بخش آقایان	اتاق عمل	الکترو فیزیولوژی
X <sub>wt</sub>	۶	۶	۱	۶	۶	۱	۳
X <sup>+</sup> <sub>wt</sub>	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰
X <sup>-</sup> <sub>wt</sub>	۰	۰	۰	۱	۱	۰	۱
Y <sub>wt</sub>	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰
I <sub>wt</sub>	۱۰	۱۷	۲	۱	۱	۱	۱

جدول-۶. خروجی مدل ریاضی توسعه یافته (مقدار بهینه مربوط به متغیرهای تعداد تخت در بخش های مختلف)

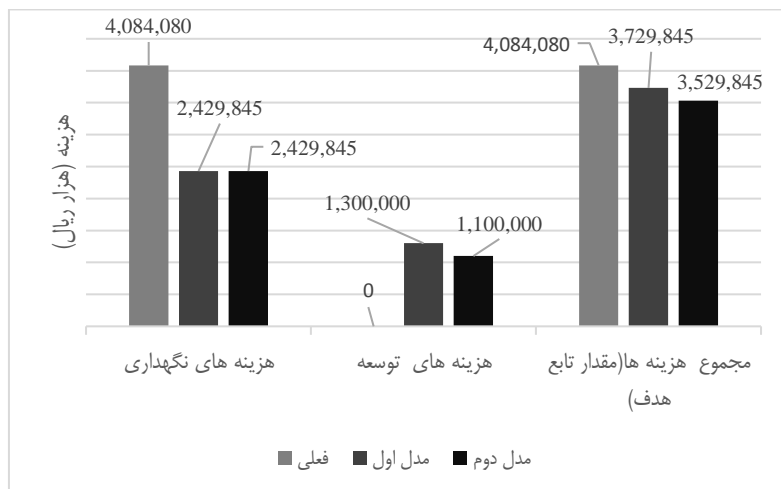
	t=0							t=1						
	الکترو		CCU	CCU	بخش	بخش	الکترو	CCU	CCU	بخش	بخش	ICU	آقایان	بانوان
	اتاق عمل	فیزیولوژی	آقایان	بانوان	آقایان	بانوان	اتاق عمل	فیزیولوژی	آقایان	بانوان	آقایان			
X <sub>wt</sub>	۳	۲	۱۰	۶	۵	۲۳	۱۶	۱	۴	۴	۱۱	۱۱	۶	۶
X <sup>+</sup> <sub>wt</sub>	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۲	۰	۰	۶	۰	۰
X <sup>-</sup> <sub>wt</sub>	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۲	۰	۶	۶	۰	۱۷	۱۰
Y <sub>wt</sub>	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۱۱	۰	۰	۰
	t=2							t=3						
	الکترو		CCU	CCU	بخش	بخش	الکترو	CCU	CCU	بخش	بخش	ICU	آقایان	بانوان
	اتاق عمل	فیزیولوژی	آقایان	بانوان	آقایان	بانوان	اتاق عمل	فیزیولوژی	آقایان	بانوان	آقایان			
X <sub>wt</sub>	۱	۴	۴	۱۰	۱۰	۶	۶	۱	۴	۴	۱۱	۱۱	۶	۶
X <sup>+</sup> <sub>wt</sub>	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۱	۱	۰	۰
X <sup>-</sup> <sub>wt</sub>	۰	۰	۰	۱	۱	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰
Y <sub>wt</sub>	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰
	t=4													
	الکترو		CCU	CCU	بخش	بخش	ICU	آقایان	بانوان					
	اتاق عمل	فیزیولوژی	آقایان	بانوان	آقایان	بانوان								
X <sub>wt</sub>	۱	۳	۴	۱۰	۱۰	۶	۶	۶						
X <sup>+</sup> <sub>wt</sub>	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰						
X <sup>-</sup> <sub>wt</sub>	۰	۱	۰	۱	۱	۰	۰	۰						
Y <sub>wt</sub>	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰						

جدول-۷. موجودی انبار هر نوع تخت بر اساس پریود زمانی

دوره	اتاق عمل	معمولی	مراقبت ویژه قلب	مراقبت ویژه
۰	۰	۰	۰	۰
۱	۲	۲۵	۰	۶
۲	۲	۲۵	۲	۶
۳	۲	۲۵	۰	۶
۴	۲	۲۶	۲	۶

جدول-۸. هزینه های روش های موجود جهت تخصیص تخت های بیمارستان نظامی (بر حسب هزار ریال)

روش	فعال	هزینه نگهداری	هزینه توسعه	مجموع هزینه ها	کاهش هزینه
فعلی	۶۵	۴,۰۸۴,۰۸۰	۰	۴,۰۸۴,۰۸۰	۰
مدل اول	۴۳	۲,۴۲۹,۸۴۵	۱,۳۰۰,۰۰۰	۳,۷۲۹,۸۴۵	۳۵۴,۲۳۵
مدل دوم	۴۳	۲,۴۲۹,۸۴۵	۱,۱۰۰,۰۰۰	۳,۵۲۹,۸۴۵	۵۵۴,۲۳۵



نمودار-۹. مقایسه هزینه های روش های موجود جهت تخصیص تخت های بیمارستان نظامی



فرو می برد. شایان ذکر است که استفاده از روش فعلی علاوه بر نواقص ذکر شده پاسخگویی نامناسبی نسبت به تقاضای بیماران و مراجعان دارد چرا که تخت ها به طور مناسب و بر اساس نیاز نیز توزیع نشده اند. لذا اقداماتی که پس از اجرای مدل های ریاضی صورت می گیرد افزایش کیفیت و سطح خدمت رسانی به بیماران را با خود به همراه دارد زیرا با نیاز های واقعی آنان تطابق بیشتری دارد. از میان تحقیقات و مطالعات مشابه در استفاده از ماتریس های مختلفی که از منابع مصرفی هر یک از بخش ها و سرویس ها از منابع موجود در یک سیستم بیمارستان، تشکیل دادند سعی در بهینه سازی سیستم داشتند (۱۳). نویسندگان در این مطالعه ماتریس های ساده ای از میزان استفاده بخش ها و دپارتمان ها از یک سری از تجهیزات مرکز درمانی مربوطه تهیه و سپس بر مبنای آن تعداد مورد نیاز تجهیزات را بدست آمده است. یکی از نواقص و ایراداتی که به این مطالعه وارد است این امر می باشد که فقط بر مبنای محاسبه میزان مصرف تجهیزات از منابع تعداد را مشخص شده است و در حقیقت تنها یک بعد از عوامل تأثیر گذار بر این تصمیم را مدنظر قرار گرفته است و هیچ یک از محدودیت های در رابطه با بودجه و انبار و فضا را در نظر نگرفته نشده است و در نتیجه یک مدل ریاضی را به این شکل که در مطالعه حاضر به آن پرداخته شده است را طراحی نشده است. از سوی دیگر باید به این نکته توجه داشت که ماتریس های مصرفی مورد استفاده همانند ماتریس ضرایب میانگین مدت زمان بستری بودن بیماران و یا تقاضای سرویس های مختلف در پژوهش حاضر می باشد که همانطور که ملاحظه می گردد در اینجا پس از تهیه و تکمیل آن ها از آن ها به عنوان ورودی مدل ریاضی طراحی شده استفاده شده است حال آنکه آن ها صرفاً به تشکیل چنین ماتریس هایی بسنده نموده اند. در مطالعه ای Akcali و همکاران برنامه ریزی ظرفیت تخت های یک بیمارستان را در یک افق برنامه ریزی مشخص به صورت یک مدل برنامه ریزی عدد صحیح غیر خطی ارائه داده اند (۱۴). در مدل ریاضی آنها متغیرهای تصمیم، تعیین کننده تعداد بهینه تخت ها در هر پریود زمانی و همچنین تغییرات در ظرفیت تخت ها می باشد. هدف مدل آن ها مینیمم کردن مجموع میانگین هزینه انتظار بیماران برای گرفتن سرویس، هزینه تغییرات در تعداد تخت ها (کم یا زیاد شدن تعداد تخت ها) و هزینه های عملیاتی در طول افق برنامه ریزی می باشد. آنها با استفاده از مسأله کوتاهترین مسیر و با ایجاد ارتباط میان مدل شبکه و مدل فرموله شده خودشان، به حل مسأله پرداختند. نقطه قوت مقاله آن ها در استفاده کردن از تئوری صف در ابتدای کار می باشد که این امکان با شرایط موجود برای محققان در این مطالعه فراهم نبوده است. آن ها مدل ریاضی خود را بر مبنای تعداد مشخصی از تخت (n تایی) قرار داده اند و با اضافه کردن متغیر های صفر و یک به مسأله در خصوص اضافه شدن یا کم شدن اصطلاحاً بسته های n تایی تصمیم گیری نموده اند. در سمت دیگر نقطه قوت مطالعه

۲- در حالتی که سیستم بیمارستان نظامی از روش دوم (مدل اول) استفاده کند یعنی اگر شرایط کاری اش به گونه ای باشد که امکان جابجایی تخت ها میان بخش هایش وجود نداشته باشد و اصطلاحاً بخش ها به صورت جزیره ای به کار خود ادامه دهند، استفاده از مدل ریاضی اول هزینه ای بالغ بر ۳,۷۲۹,۸۴۵,۰۰۰ ریال را برای سیستم به همراه دارد که از این میزان مقدار ۲,۴۲۹,۸۴۵,۰۰۰ ریال مربوط به هزینه های نگهداری و تعمیرات و مقدار ۱,۳۰۰,۰۰۰,۰۰۰ ریال صرف خرید ۱۳ تخت جدید برای بیمارستان می شود. استفاده از روش دوم علیرغم اینکه سیستم هزینه ای را برای خرید تخت های جدید می پردازد، منجر به کاهش هزینه های کل به میزان ۳,۵۲۹,۸۴۵,۰۰۰ ریال نسبت به روش اول می گردد.

۳- در حالتی که سیستم بیمارستان نظامی از روش سوم (مدل دوم) استفاده کند یعنی اگر شرایط کاری اش به گونه ای باشد که امکان جابجایی تخت ها میان بخش هایی که تخت های یکسان دارند وجود داشته باشد، استفاده از مدل ریاضی دوم هزینه ای بالغ بر ۳۵۲,۹۸۴,۵۰۰ ریال را برای سیستم به همراه دارد که از این میزان مقدار ۲۴۲,۹۸۴,۵۰۰ ریال مربوط به هزینه های نگهداری و تعمیرات می باشد که همانند حالت استفاده از روش دوم است و همچنین مقدار ۱۱۰,۰۰۰,۰۰۰ ریال صرف خرید ۱۱ تخت جدید برای می شود. مشاهده می گردد که در حالت استفاده از روش سوم تعداد خرید تخت ها کاهش می یابد که این مهم به دلیل وجود امکان فرض جدیدی است که به مسأله اضافه شده می باشد. همانند استفاده از روش دوم، اگر روش سوم به کار بسته شود علیرغم اینکه سیستم هزینه ای را برای خرید تخت های جدید می پردازد، منجر به کاهش هزینه های کل به میزان ۵۵۴,۲۳۵,۰۰۰ ریال نسبت به روش اول می گردد.

با توجه به خروجی مدل های ریاضی که برگرفته از داده های مربوط به پارامتر های ورودی جمع آوری شده می باشد و همچنین تجزیه و تحلیل های صورت گرفته، به سادگی می توان دریافت که بیمارستان نظامی مورد مطالعه با ظرفیتی به مراتب بیشتر از نیاز و تقاضا به کار خود ادامه می دهد. در واقع کار کردن بیمارستان نظامی با تعداد زیادی تخت خالی فاکتور مناسبی با توجه به شاخص ارزیابی بیمارستان ها همچون شاخص بهره وری نمی باشد زیرا واضح است که استفاده از تعداد بیش از نیاز از تجهیزات نه تنها از لحاظ فیزیکی هر سیستمی را با مشکل و محدودیت هایی مواجه می کند بلکه از دیدگاه هزینه نیز بسیار ضرر دارد. پرداخت هزینه های نگهداری و به روز رسانی تجهیزاتی که می توان به راحتی آنها را از سیستم خارج کرد، بعنوان یک هزینه گزاف و اضافی تنها بر مجموع هزینه های اجرایی می افزاید. از سوی دیگر تعداد بیش از ظرفیت مورد نیاز تجهیزات (تخت) زمینه ای را بوجود می آورد که بر مبنای آن تصمیم گیری درست و منطقی در مورد پرسنل مورد نیاز هر بخش را برای تصمیم گیران و مدیران در هاله ای از ابهام

عملیات و مدلسازی در حل مسائل و معضلات صنعتی و خدماتی بسیار مؤثر و کارا می باشد. لذا به مدیران و مسئولین امر بیمارستان نظامی و کلیه تصمیم گیرندگان پیشنهاد می گردد تا تحقیق انجام گرفته در این زمینه را که مربوط به پایه ای ترین بخش راه اندازی و همچنین توسعه یک سیستم بهداشت و درمان می باشد را بعنوان مبنایی جهت افزایش کارایی و بهره وری و کیفیت خدمت رسانی به بیماران خود قرار دهند. همچنین استفاده از مدل ریاضی احتمالی نیز در بسط و توسعه در زمینه مربوطه می تواند تا حدودی به بهتر نمودن مدلسازی مسأله کمک کند. اگر چه که در ابتدا ساخت مدل قطعی یعنی همان امری که در این تحقیق بدان پرداخته شده، پایه و اساس یک مدل ریاضی احتمالی می باشد. لذا پس از به کار بردن خروجی های مدل نوبت به بحث و بررسی در مورد عملکرد سیستم با استفاده از شاخص های مناسب و همچنین ایجاد تعادل میان بخش ها و تعداد پرسنل مورد نیاز می رسد. برای حصول چنین اهدافی پیشنهاد می گردد تا از سیستم های صف و شبیه سازی آماری سیستم بیمارستان بهره گرفته شود تا به بهینه ترین جواب ها دسترسی پیدا شود.

**تشکر و قدردانی:** لازم می دانیم از همکاران و کلیه مشارکت کنندگان در این پژوهش، تقدیر و تشکر نمایم.

**تضاد منافع:** بدین وسیله نویسندگان تصریح می نمایند که هیچ گونه تضاد منافی در خصوص پژوهش حاضر وجود ندارد.

## منابع

- Green L. Capacity planning and management in hospitals. *Operations research and health care*. 2005;15-41.
- Yegane SA, Shahrami A, Hatamabadi HR, Hosseini-Zijoud SM. Clinical information transfer between EMS staff and Emergency Medicine Assistants during handover of trauma patients. *Prehospital and Disaster Medicine*. 2017;1:1-7.
- Tayyebi S, Hosseini S H, Noori S, Hosseini Zijoud S M, Derakhshanfar H. Evaluation of Clinical Education in Pediatric Wards of Hospitals Affiliated to Shahid Beheshti University of Medical Sciences according to the Ministry of Health Standards in 2015. *J Mil Med*. 2017;19(1):63-71
- Rais A, Viana A. Operations research in healthcare: a survey. *International transactions in operational research*. 2011;18(1):1-31.
- Brailsford S, Vissers J. OR in healthcare: A European perspective. *European journal of operational research*. 2011;212(2):223-34.
- Hulshof PJ, Kortbeek N, Boucherie RJ, Hans EW, Bakker PJ. Taxonomic classification of planning decisions in health care: a structured review of the state of the art in OR/MS. *Health systems*. 2012;1 (2):129-75.
- Karnon J, Mackay M, Mills TM. Mathematical modelling in health care. In 18th World IMACS/MODSIM Congress 2009 Jul (pp. 44-56).
- Smith- Daniels VL, Schweikhart SB, Smith- Daniels DE. Capacity management in health care services: Review

حاضر به جامع تر بودن و در نظر گرفتن محدودیت های بیشتری از مسأله و داخل نمودن مفاهیم مهمی از جمله انبار های مشترک و امکان تبادل تخت میان بخش هایی که از تخت های یکسان استفاده می کنند در مدل ریاضی می باشد. شایان ذکر است که مدل ارائه شده در مطالعه حاضر قابلیت مورد استفاده قرار گرفتن در هر نوع بیمارستان (تخصصی یا عمومی) را دارا می باشد. از محدودیت های پژوهش حاضر می توان به تخصیص فضایی جهت انبار تخت ها اشاره نمود.

## نتیجه گیری

با توجه به نتایج حاصله در بخش نتایج که در جداول ۵-، ۶، ۷ و ۸ و همچنین نمودار ۱- آمده است، تعداد تخت های فعلی بیمارستان نظامی مورد مطالعه که برابر با ۶۳ تخت می باشد فاصله نسبتاً زیادی از تعداد بهینه تخت یعنی عدد ۴۳ که خروجی مدل های اول و دوم می باشند، دارد. این تفاوت معنادار در تعداد تخت به علت بالاتر بودن ظرفیت بیمارستان از حالت بهینه هزینه هایی همچون هزینه نگهداری بیشتری را به سیستم تحمیل می کند. اگر بیمارستان نظامی از روش های دوم و سوم که به ترتیب خروجی های مدل های ریاضی می باشند استفاده کند می تواند کاهش هزینه ای به ترتیب برابر با ۳۵۴،۲۳۵ و ۵۵۴،۲۳۵ هزار ریال در سال را برای سیستم به همراه داشته باشد.

بر اساس موارد ذکر شده و نتایج بدست آمده از اجرای مدل های ریاضی به نظر می آید که همانطور که در جوامع پیشرفته و کشورهای توسعه یافته دیده می شود، استفاده از علم تحقیق در

and future research directions. *Decision Sciences*. 1988; 19(4):889-919.

9. Green LV, Savin S. Reducing delays for medical appointments: A queueing approach. *Operations Research*. 2008;56(6):1526-38.

10. Ma G, Demeulemeester E. A multilevel integrative approach to hospital case mix and capacity planning. *Computers & Operations Research*. 2013;40(9):2198-207.

11. Griffiths JD, Knight V, Komenda I. Bed management in a critical care unit. *IMA Journal of Management Mathematics*. 2013;24(2):137-53.

12. Bastian ND, Fulton LV, Shah VP, Ekin T. Resource allocation decision making in the military health system. *IIE Transactions on Healthcare Systems Engineering*. 2014;4(2):80-7.

13. Tai G, Williams P. Product line management for health care system: theoretic capacity planning over various resources. In *Industrial Engineering and Engineering Management, 2008. IEEM 2008. IEEE International Conference on 2008 Dec 8* (pp. 690-694). IEEE.

14. Akcali E, Coˆt  MJ, Lin C. A network flow approach to optimizing hospital bed capacity decisions. *Health Care Management Science*. 2006;9 (4):391-404.