Archive of SID

مدیریت جریان بیمار و برنامه ریزی ظرفیت واحد قلب بیمارستان ، رویکرد مدلسازی ریاضی و شبیه‌سازی گسسته- پیشامد

محسن افصحی[۱]، محمد مهدی سپهری[۲*] ، احسان عامری[۱]

تاریخ دریافت: ۹۳/۲/۴ تاریخ پذیرش: ۹۳/۱۱/۱۰

چکیده:

زمینه و هدف: *تصمیم‌گیری در مورد تغییر تعداد تخت‌های بیمارستان یکی از چالش‌های پیش روی مدیران بیمارستان‌ها است، زیرا با افزایش تعداد تخت‌ها، هزینه جاری بیمارستان افزوده می‌شود و از طرف دیگر با کاهش تعداد تخت‌ها، جریان بیماران با اختلال مواجه می‌شود. از این رو هدف اصلی این تحقیق، کمینه‌سازی هزینه‌ها و بیشینه‌سازی جریان بیماران در شبکه، با در نظر گرفتن محدودیت‌های عملی بیمارستان است.*

مواد و روش ها: *گام‌های اصلی مطالعه عبارت است از: شناسایی محدودیت‌های موجود در تغییر ظرفیت هر بخش به کمک مصاحبه با مدیران و پرسنل بیمارستان، تحلیل و بررسی شبکه جریان بیمار قلبی در بیمارستان مدرس تهران، شبیه‌سازی جریان فعلی، تعیین سناریوهای قابل اجرا و انتخاب بهترین سناریوها به کمک مدل سازی ریاضی با هدف کمینه‌سازی هزینه و بیشینه‌سازی جریان بیماران*

نتایج: *از میان تعداد زیادی سناریو موجود، با بررسی محدودیت‌ها تعداد ۳۱ سناریو قابل اجرا شناسایی و مورد تحلیل قرار گرفت. در نهایت، ۸ سناریو برتر مشخص شد. نتایج نشان داد که به طور کلی کاهش تخت در سی‌سی‌یو و افزایش تخت در پست‌سی‌سی‌یو می تواند با در نظر گرفتن محدودیت‌های هزینه‌ای، جریان بیماران را بهبود بخشد.*

نتیجه گیری: *رویکرد پیشنهادی می‌تواند یک راهنمای کلی برای برنامه‌ریزی ظرفیت بیمارستان با در نظر گرفتن محدودیت‌های عملی باشد. از آنجایی که برخی از مدیران سلامت، با ایجاد بخش پست‌سی‌سی‌یو (Post Coronary Care Unit (Post CCU مخالفت می‌کنند. با این رویکرد می‌توان وضعیت جریان بیماران را در شرایط وجود و عدم وجود این بخش با هم مقایسه نمود.*

کلمات کلیدی: *برنامه ریزی ظرفیت، شبکه جریان بیماران قلبی، مدل سازی ریاضی، شبیه سازی گسسته- پیشامد*

[۱] کارشناس ارشد مهندسی صنایع، دانشگاه تربیت مدرس
[۲] دانشیار مهندسی صنایع، دانشگاه تربیت مدرس (*نویسنده مسئول) ساختمان دانشکده فنی و مهندسی، دانشگاه تربیت مدرس، بزرگراه جلال آل احمد، تهران، ایران
mehdi.sepehri@modares.ac.ir ۱۴۱۱۷۱۳۱۱۴

www.SID.ir

Archive of SID

مقدمه

همواره مدیران بیمارستان با این چالش مواجه هستند که چگونه با منابع محدود و هزینه‌های رو به رشد، بالاترین سطح کیفی درمان را در مراکز سلامت ارائه کنند. در سال ۲۰۰۷ هزینه‌های بخش سلامت در ایالات متحده به ۲.۲ تریلیون دلار رسید و پیش‌بینی می‌شود که این رقم برای سال ۲۰۱۸، به ۴.۴ تریلیون دلار برسد[۱]. در تحقیقات اخیر از برنامه‌ریزی ظرفیت به عنوان یکی از مهم‌ترین روشهای کاهش هزینه‌های بخش سلامت، یاد شده است[۲]. بدیهی است که هر گونه تصمیم گیری در مورد برنامه‌ریزی ظرفیت و افزایش یا کاهش منابع بر هزینه‌های بخش سلامت، سطح سرویس و کیفیت درمان بیماران تاثیرگذار است[۳]. برای نمونه تحقیقات نشان داده است که نسبت پرستار به بیمار و تعداد تخت در واحد مراقبت‌های ویژه نوزادان، تاثیر به سزایی بر میزان مرگ و میر بیماران دارد[۴, ۵] .

اغلب فرآیند درمان بیمار در مراکز درمانی به گونه‌ای است که در طول درمان، بیمار باید در چندین بخش بستری شود و پر بودن بخش‌ها باعث می‌گردد که بیماران آماده انتقال به این بخش‌ها، در بخش خود بلوکه شوند. به طور مثال سرویس‌دهی به بیماران قلبی در بیمارستان-های تخصصی قلب از اورژانس شروع شده و با بخش‌هایی نظیر کت‌لب، سی سی یو، پست‌سی‌سی‌یو و بخش مراقبت عادی قلبی ادامه پیدا می‌کند. این بخش‌ها گره‌های شبکه جریان بیماران قلبی را تشکیل می‌دهند و جریان بیمار بین این بخش‌ها، یال شبکه به حساب می‌آید. به طوری که اشغال هر یک بر دیگری تاثیرگذار است و پدیده انسداد یا بلوکه شدن بیماران را به همراه دارد. در عمل مشاهده شده است که از این قبیل مشکلات در بیمارستان به وفور یافت می‌شود. مثال دیگر، زمانی که بخش مراقبت‌های حاد[1] پر بوده و قادر به پذیرش بیمار جدید نباشد، بیماران در آی سی یو و اورژانس بلوکه می‌شوند. این امر بدین معنی است که سرویس بیمار در آی سی یو و یا اورژانس تمام شده و بیمار آماده انتقال به بخش مراقبت‌های حاد است ولی به دلیل پر بودن این بخش بیمار در آی سی یو یا اورژانس منتظر می‌ماند. این مسئله باعث اشغال تخت در بخش‌های آی سی یو و اورژانس شده و امکان دارد که برخی از بیماران در این بخش‌ها پذیرش نشوند و بصورت بالقوه وضعیت این بیماران به خطر افتد[۶]. واضح است که تعداد تخت هر بخش بر جریان بیماران در تمام شبکه اثر می‌گذارد. به طور خاص، بلوکه شدن یک مولفه کلیدی در تعامل بین واحدهای بیمارستان است[۳]. مشکلات مربوط به بلوکه شدن مانند عدم پذیرش بیماران و انتقال آنها به بیمارستان‌های دیگر در مراجع [۷, ۸] بررسی شده است.

در ادامه، بعد از مرور ادبیات و بیان نوآوری های این تحقیق در بخش دوم، رویکرد ترکیبی مدل‌سازی ریاضی و شبیه‌سازی به تفصیل تشریح خواهد شد. در قسمت چهارم، مدل ارائه شده، در بخش قلب بیمارستان مدرس بررسی و پیاده‌سازی می‌شود و در آخر جمع‌بندی و نتیجه‌گیری ارائه می‌گردد.

مرور ادبیات

به طور کلی پدیده بلوکه شدن زمانی رخ می‌دهد که ظرفیت منابع در شبکه صف، متناهی باشد، یعنی بیمار پس از اتمام سرویس به دلیل پر بودن بخش بعدی، قادر به ترک بخش خود نباشد. درزی[2] و همکاران [۹] با شبیه-سازی جریان بیمار در بیمارستانِ جرج[3] انگلستان مدلی جهت پیش‌بینی زمان اقامت بیمار و میانگین تعداد بیماران در هر بخش ارائه دادند. آنها در این مدل از یک سیستم صف استفاده کرده و تاثیر بلوکه شدن بیماران را در جریان بیمار تحلیل کردند سپس به کمک یک رویکرد سناریو سازی به تحلیل راهکارهای مناسب برای بهبود جریان بیمار پرداختند. هرشی[4] و همکاران[۱۰] با استفاده از رویکرد ریاضی به تحلیل مساله بلوکه شدن پرداختند. ولی در مدلی که ارائه دادند فقط در یک بخش، بیماران بلوکه می‌شدند و این پدیده در بخش‌های دیگر رخ نمی‌داد یعنی شبکه طوری طراحی شده بود که فقط بعد از یک بخش خاص ظرفیت بخش‌های دیگر متناهی فرض شده و جریان بخش‌های دیگر با ظرفیت متناهی مواجه نمی‌شدند که البته این مدل قابلیت انطباق بالایی با دنیای واقعی را نداشت. رویکرد ارائه شده در این مقاله این مشکل را حل کرده است و پدیده بلوکه شدن را در همه بخش های قلبی بیمارستان بررسی می کند. کویزومی[5] و همکاران[۱۱] با رویکرد شبکه صف جریان بیماران را در مرکز سلامت روان ایالت فیلادلفیا مدل‌سازی کرده و با روش تجزیه شبکه صف، مدل را حل کردند. در این مدل فضای انتظار هر بخش نامتناهی فرض شده و بیماران بعد

[1] Acute Care

[2] Darzi

[3] George's Hospital

[4] Hershey

[5] Kuizomi

www.SID.ir

Archive of SID

از بلوکه شدن به بخش بعدی انتقال می‌یابند. هر چند این فرضیات با شبکه جریان بیماران در مراکز سلامت روان انطباق دارد اما این رویکرد را در مراکزی که فضای انتظار نامتناهی ندارند نمی‌توان به کار برد. کوچران و بارتی[1] [۱۲] با شبیه‌سازی جریان بیمار بر اساس شبکه صف، بهره‌وری تخت را در یک بیمارستان زنان تعدیل کردند. هدف آنها کمینه‌سازی تخت بلوکه شده با توجه به محدودیت‌های تخصیص تخت بود. هر چند در این تحقیق، محدودیت‌های تخصیص در نظر گرفته شده ولی ملاحظات هزینه‌ای در مدل لحاظ نشده است. کورت[2] و همکاران[۱۳] مدلی ارائه دادند که با رویکرد شبکه صف، سناریوهای مختلف جهت یافتن چیدمان بهینه برای بخش‌های آی سی یو[3] و پست آی سی یو مورد تحلیل قرار گرفت. ولی مدل ارائه شده فقط قادر به تخمین متوسط تعداد بیمار بلوکه شده در صف‌های سری است و اگر بخش‌ها جریانی متفاوت با شبکه سری ایجاد کنند این مدل کارآیی خود را از دست می‌دهد.

مدیران بیمارستانی اغلب تمایل دارند که همراه با بهبود وضعیت جریان بیمار، تحلیلی از هزینه‌های پیاده‌سازی هر طرح داشته باشند. چه بسا سناریوهایی که بعد هزینه در آنها در نظر گرفته نشده، در زمان اجرا با شکست روبرو شوند.

همانطور که بحث شد، در پیشینه مطالعات تحلیل جریان بیمار، عموما از تغییرات منابع در راستای بهبود فرآیند درمان استفاده می شود ولی در واقعیت برای ایجاد این تغییرات، مدیریت بیمارستان با محدودیت‌های متعددی از جمله: هزینه، فضا و نظایر آن مواجه است.

از این رو، در این تحقیق رویکردی ارائه شده است که با ترکیب شبیه‌سازی و مدل‌سازی ریاضی، برنامه‌ریزی ظرفیت بخش‌ها، به گونه‌ای صورت گیرد که از یک سو متوسط تعداد بیماران بلوکه شده در همه بخش ها و از سوی دیگر هزینه‌های مربوط به برنامه‌ریزی ظرفیت بیمارستان کمینه گردد. در این رویکرد با در نظر گرفتن محدودیت‌هایی واقعی برنامه‌ریزی ظرفیت به گونه‌ای صورت گیرد که ملاحظات بیمار و بیمارستان به صورت همزمان لحاظ گردد. (این جمله اشکال دارد. بهتر است بازنویسی شود). مثلا همانطور که اشاره شد، در برخی از مقالات فضا را نامتناهی در نظر می‌گیرند که در عمل، منجر به جواب‌های ناموجه می‌شود. با استفاده از محدودیت های در نظر گرفته شده در این تحقیق، جواب های غیرمنطقی که قابلیت اجرا ندارند حذف می‌شود. همچنین در رویکرد پیشنهادی علاوه بر اهداف ذکر شده، سطح اشغال منابع، تحلیل شده و میزان کمبود تخت‌ها نیز کمینه می‌شود. مطابق با دانش نویسندگان تاکنون هیچ رویکردی این جزییات را به صورت همزمان در نظر نگرفته است. همچنین در این پژوهش با در نظر گرفتن مفاهیم بلوکه شدن دقت جواب بهینه افزایش یافته است. از آنجایی که تاکید این مقاله بر کاربرد پذیری است، مطالعه موردی انجام شده در بخش بیماران قلبی بیمارستان مدرس تهران نشان از کارایی بالای این رویکرد دارد که این امر به تایید خبرگان و مدیران بیمارستان هم رسید. جامعه خبرگان از سه پرستار، دو سرپرستار، یک مسئول کت‌لب، یک پزشک متخصص قلب و مسئول پژوهش بیمارستان مدرس تشکیل شده است.

جامعه خبرگان چه افرادی بودند و چه ویژگیهایی داشتند؟ چند نفر بودند؟

جدول (۱)، برخی مقالاته شاخص در حوزه تحلیل جریان بیمار را به طور خلاصه فهرست کرده است و فرضیات و روشهای حل مسئله تحقیق هر مقاله ارائه گردیده است. همچنین در سطر آخر این جدول، فرضیات و روش حل و نوآوری این پژوهش بیان شده است.

شرح مساله

بلوکه شدن بیماران پدیده‌ای است که از طرفی باعث نارضایتی بیماران می‌گردد و از طرفی دیگر، هزینه اضافی به بیمارستان وارد می‌کند. در این مقاله، به منظور تعیین تعداد بهینه تخت‌های بخش‌های مختلف بیمارستان یک رویکرد کلی با هدف کمینه سازی: ۱) متوسط تعداد بیماران بلوکه شده و ۲) هزینه‌های بیمارستان، ارائه می‌شود. هزینه‌های بیمارستانی شامل: هزینه ثابت راه‌اندازی، هزینه فرصت زمان از دست رفته به دلیل خالی بودن تخت، هزینه پرسنل تخصیص یافته به بخش و هزینه عملیاتی تخت‌ها است. البته مدیریت بیمارستان برای افزایش تخت‌ها در هر بخش با محدودیت‌هایی مواجه است که در ادامه به آن پرداخته می‌شود.

رویکرد پیشنهادی از ادغام مدل سازی ریاضی و شبیه سازی گسسته پیشامد حاصل شده است که در بخش‌های آینده به تفصیل توضیح داده خواهد شد.

[1] Cochran and Bharti

[2] Kurt

[3] Intensive Care Unit (ICU)

www.SID.ir

Archive of SID

جدول ۱ : فهرست مقالات بررسی شده در پیشینه موضوع

*	نویسنده	سال	روش مدل‌سازی								اهداف مطالعات							
			روش نسبی	رویکرد صف	شبکه صف	شبیه سازی گسسته پیشامد	مدلسازی عدد صحیح	مدل سازی تصادفی	تصمیم گیری چند معیاره	برنامه ریزی آرمانی	تحلیل جریان بیمار در وضع موجود	بهبود جریان بیمار با اجرای سناریوهای مختلف	کمینه سازی هزینه	کمینه سازی زمان بلوکه شدن بخش ها	کمینه سازی زمان انتظار	تحلیل سطح اشغال	بیشینه سازی سود	کمینه سازی کمبود تخت
۱	Di Lin[14] و همکاران	۲۰۱۴			✓						✓			✓				
۲	Allyson[15] و همکاران	۲۰۱۴				✓						✓						
۳	Guoxuan Ma[16] و Erik Demeulemeester	۲۰۱۳				✓	✓			✓							✓	✓
۴	Thomas R. Rohleder[17] و همکاران	۲۰۱۱				✓					✓	✓			✓			
۵	Kurt M. Bretthauer[3] و همکاران	۲۰۱۱			✓									✓				
۶	Lalit Garg[18] و همکاران	۲۰۱۰																
۷	Pengfei Yi[19] و همکاران	۲۰۱۰			✓						✓				✓			
۸	Jeffery K. Cochranal[20] و همکاران	۲۰۰۹			✓													
۹	Carolina Osorio, Michel Bierlaire[21]	۲۰۰۹			✓						✓							
۱۰	J.P. Oddoye[22] و همکاران	۲۰۰۹				✓				✓								
۱۱	Ali Kokangul[23]	۲۰۰۸				✓		✓		✓								
۱۲	Rodrigo B. Ferreira[24] و همکاران	۲۰۰۸				✓					✓	✓						
۱۳	Diwakar Gupta[25]وهمکاران	۲۰۰۷				✓						✓						
۱۴	Arnoud M[26] و همکاران	۲۰۰۷		✓		✓										✓		
۱۵	Elif Akcali[27] و همکاران	۲۰۰۶					✓						✓					
۱۶	J.M. Nguyen[28] و همکاران	۲۰۰۵	✓						✓									
۱۷	Naoru Koizumi[11] و همکاران	۲۰۰۵			✓	✓					✓							
۱۸	Martin Utley[29] و همکاران	۲۰۰۳						✓										✓
۱۹	F Gorunescu [30] و همکاران	۲۰۰۲	✓	✓									✓		✓			
۲۰	PR Harpe[31]	۲۰۰۲				✓	✓				✓	✓						
۲۱	Murry J.Cote[32]	۱۹۹۹				✓										✓		
۲۲	Seung-Chul Kim[33]	۱۹۹۹				✓					✓							
۲۳	**رویکرد پیشنهادی**					✓	✓				✓	✓	✓	✓		✓		

www.SID.ir

Archive of SID

متغیرها و پارامترها

پارامترها و متغیرهای به کار رفته در رویکرد پیشنهادی در جدول ۲ آمده است.

جدول ۱. پارامترها و متغیرهای مساله

اندیس	I	اندیس بخش‌ها $(i=1,...,n)$
	J	اندیس بخش‌ها $(j=1,...,n)$
	D	d: اندیس پرسنل $(d=1,...,D)$
توابع وابسته به θ	$L_i(\theta)$	تابع متوسط تعداد بیماران بلوکه‌شده دربخش i
	$b_i(\theta)$	تابع متوسط تعداد تخت خالی در بخش i
	$P_i(\theta)$	تابع متوسط تعداد بیماران پذیرش‌شده در بخش i
	$U_i(\theta)$	تابع بهره‌وری بخش i
پارامتر	C_i^+	هزینه ثابت راه‌اندازی هر تخت بخش i
	C_i^-	هزینه ثابت کاهش تخت در بخش iام
	CE_i	هزینه خالی بودن هر تخت در بخش iام در واحد زمان
	c_{id}^+	هزینه به کارگیری پرسنل نوع dام در بخش i در واحد زمان
	c_{id}^-	هزینه کاهش تعداد پرسنل نوع d در بخش i
	OC_{ij}	متوسط هزینه نگهداری و تعمیرات در صورت استفاده هر بیمار از تخت j در بخش i
	Cp_{ij}	هزینه ثابت تبدیل بخش i به بخش j
	CB_{ij}	هزینه صرفه‌جویی شده در تبادل تخت بین دو بخش i و j
	T^{total}	کل مدت زمان برنامه‌ریزی
	V_i^+	حداکثر فضای در دسترس برای توسعه بخش i
	CT_i	کل بودجه در دسترس برای افزایش ظرفیت بخش i
	S_i	فضای اشغال شده توسط هر تخت بخش i
	α_i	ضریب اهمیت زمان بلوکه شدن در بخش i و
	$U_{\min}^i$	حداقل مقدار بهره‌وری بخش i
	$U_{\max}^i$	حداکثر مقدار بهره‌وری بخش i
	M	عددی بزرگ
	z_{ij}	پارامتر ۰ و ۱ نشان‌دهنده امکان تبدیل بخش i به بخش j
متغیر تصمیم	x_i^+	تعداد تخت اضافه شده به بخش iام
	x_i^-	تعداد تخت کم شده از بخش iام
	γ_i	متغیر ۰ و ۱ نشان‌دهنده اضافه شدن یا کم شدن تعداد تخت

مدل‌سازی مساله

در ادبیات این حوزه مقالات اکثرا به صورت تک هدفه حل می‌شوند. برخی از مقالات تنها به کمینه سازی زمان انتظار بیماران می پردازند و به هزینه‌های عملیاتی توجه ندارند [۱۷]. برخی دیگر از مقالات تنها به کمینه سازی هزینه پرداخته اند و زمان انتظار بیماران را به عنوان محدودیت در نظر می‌گیرند[۲۷]. اما همانطور که واضح است این دو متغیر بر روی یکدیگر اثرگذارند. مطابق دانش نویسندگان، در ادبیات این موضوع هیچ تحقیقی به کمینه سازی همزمان متوسط زمان انتظار (متوسط تعداد بیماران بلوکه شده) و هزینه های بیمارستان نپرداخته است. از آنجایی که در دنیای واقعی، ارضای همزمان این اهداف ضروری است، در این مقاله این دو هدف کلی دنبال می‌شود. با توجه به مطالب ذکر شده این اهداف به صورت زیر نمایش داده می‌شود.

$$Min \sum_{i=1}^{n} \alpha_i L_i(\theta) \qquad (۱)$$

$$\begin{aligned} Min\ & \sum_{i=1}^{n} C_i^+ \times x_i^+ + \sum_{i=1}^{n} C_i^- \times x_i^- \\ & + \sum_{i=1}^{n}\sum_{d=1}^{m} N_{id}^+ \times c_{id}^+ \times T^{total} + \sum_{1\le i<j\le n} Cp_{ij} \times z_{ij} \\ & + \sum_{i=1}^{n}\sum_{d=1}^{m} N_{id}^- \times c_{id}^- + \sum_{i=1}^{n} CE_i \times b_i(\theta) \\ & + \sum_{i=1}^{n} P_i(\theta) \times OC_i - \sum_{j\neq i} x_j^- . CB_{ij} . z_{ij} . \gamma_i . \gamma_j \end{aligned} \qquad (۲)$$

از آنجایی که این اهداف غیر همسو هستند و ارضای همزمان آنها نامحتمل است، بنابراین یک مجموعه جواب پارتو بدست می‌آید که از بین آنها جواب بهینه استخراج می‌شود.

تابع هدف (۱) مجموع تعداد بیماران بلوکه شده را در هر بخش کمینه می‌کند و ضریب α_i اهمیت هر نوع بیمار را نشان می‌دهد، به طور مثال بلوکه شدن بیماران قبل از اتاق عمل از اهمیت بسیار بالاتری نسبت به بلوکه شدن بیماران در بخش عادی دارد. تابع هدف (۲) مربوط به هزینه‌های بیمارستان است به طوری که عبارت اول، هزینه افزایش تعداد تخت در هر بخش، عبارت دوم هزینه کاهش تعداد تخت در هر بخش، عبارت سوم هزینه افزایش پرسنل به دلیل افزایش تعداد تخت در هر بخش، عبارت چهارم هزینه تبدیل بخش‌ها به یکدیگر، عبارت پنجم هزینه کاهش نیروی انسانی به دلیل کاهش تخت در هر بخش، عبارت ششم هزینه فرصت زمان از دست رفته است که از ضرب میانگین زمان خالی بودن تخت‌ها

www.SID.ir

Archive of SID

در هر بخش در هزینه فرصت از دست رفته به دست می‌آید. در این عبارت متوسط زمان خالی بودن تخت تابعی از تعداد تخت‌ها است. عبارت هفتم هزینه عملیاتی بیمارستان را نشان می‌دهد. در این عبارت تعداد بیماران بستری شده در هر بخش نیز تابعی از تعداد تخت‌ها می‌باشد که این پارامترها توسط شبیه‌سازی محاسبه می‌شوند. عبارت آخر نیز مقدار هزینه صرفه‌جویی شده از تبادل تخت بین دو بخش i و j را نشان می‌دهد.

به منظور در نظر گرفتن شرایط دنیای واقعی در بیمارستان محدودیتهای زیر بر اهداف ذکر شده اعمال می‌شود.

$$LB_i(\theta) \le \max LB_i \qquad \forall i \qquad (1)$$

$$N_{id}^{+} = f\,(x_i^{+}, d).\gamma_i \qquad \forall i, d \qquad (2)$$

$$N_{id}^{-} = f\,(x_i^{-}, d).(1-\gamma_i) \qquad \forall i, d \qquad (3)$$

$$S_i x_i^{+} \le V_i^{+} + (S_j.x_j^{-} + V_j^{+}) z_{ij}\,(1-\gamma_j) + (V_j^{+} - S_j.x_j^{+}) z_{ij}\gamma_j \qquad \forall i,j \quad i \ne j \qquad (4)$$

$$x_i^{+} \le M\gamma_i \qquad \forall i \qquad (5)$$

$$x_i^{-} \le M(1-\gamma_i) \qquad \forall i \qquad (6)$$

$$x_j^{-} \le x_i^{+}.z_{ij} \qquad \forall i, j \qquad (9)$$

$$U_{\min} \le U_i \le U_{\max} \qquad \forall i \qquad (10)$$

$$\sum_{i=1}^{n} C_i^{+} x_i^{+} \le CT_i \qquad \forall i \qquad (11)$$

$$\sum_{i=1}^{n} \alpha_i = 1 \qquad (12)$$

$$\gamma_i, z_{ij} \in \{0,1\} \qquad \forall i, j \qquad (13)$$

$$\forall x_i^{+}, x_i^{-} \in \text{int} \qquad \forall i \qquad (14)$$

رابطه (۳) تضمین می‌کند که متوسط تعداد بلوکه شدن بیماران در هر بخش بیشتر از حد مشخصی نشود، رابطه (۴) تعداد پرسنل لازم برای بخش i در صورت اضافه شدن تخت را نشان می‌دهد. در صورت کم شدن تخت در بخش i ، رابطه (۵) تعداد پرسنل جهت تعدیل نیرو را نشان می‌دهد. در صورت لزوم رابطه (۶) این امکان را فراهم می‌سازد که به شرط امکان‌پذیری بخش‌ها از فضای یکدیگر استفاده کنند. یعنی به طور مثال اگر بخش i مجاز به استفاده از فضای بخش j باشد دو حالت رخ می‌دهد: ۱) در بخش j تخت اضافه نشود یا کم شود که در این حالت بخش i می‌تواند از فضای مازاد مجاز بخش j به علاوه فضای تعداد تخت کم‌شده استفاده کند، ۲) در بخش j تخت اضافه شود که در این حالت بخش i می‌تواند از مقدار فضای اضافی باقیمانده در بخش j استفاده کند. رابطه (۷) و (۸) تضمین می‌کند که در هر بخش در صورت لزوم تخت اضافه یا کم شود. بهره‌وری بالای هر بخش باعث ازدیاد زمان انتظار و بلوکه شدن بیماران می‌شود از سوی دیگر بهره‌وری پایین هر بخش نیز از لحاظ اقتصادی برای بیمارستان مطلوبیت ندارد. بنابراین رابطه (۹) تضمین می‌کند که تعداد تخت‌های اضافه شده در بخش i بزرگتر مساوی از تعداد تخت‌های کم‌شده از بخش j باشد رابطه (۱۰) بهره‌وری هر بخش بین مقادیر مجاز آن باشد. رابطه (۱۱) محدودیت حداکثر هزینه برای اضافه کردن تخت را بیان می‌کند. رابطه (۱۲) مجموع وزن α_i را برابر ۱ قرار می‌دهد و رابطه (۱۳) متغیرهای صفر و یک مساله را تشریح می‌کند. رابطه (۱۴) بیان می‌کند که تعداد تخت‌ها باید عدد صحیحی باشند. در اینجا بیان نشده این محدودیت ها دقیقا به چه صورت بدست آمده؟ آیا رعایت همه این محدودیتها لازم است؟ طی بررسی‌ها و مشاهداتی که در بیمارستان‌ها صورت گرفت، دریافت شد که برخی بیمارستان‌ها برای راه‌اندازی یا توسعه ی یک بخش با محدودیت فضا مواجه هستند، ولی این امکان وجود دارد که واحدهای مجاور به یکدیگر تبدیل گردند. با این کار بیمارستان می‌تواند در هزینه صرفه-جویی کند، البته به شرطی که مدیریت بداند که چه تعداد تخت برای هر بخش مناسب است. متاسفانه در برخی موارد دیده شد که توازن مناسبی بین تعداد تخت‌ها در بخش‌هایی که به صورت شبکه با یکدیگر در ارتباط هستند وجود ندارد. این محدودیت‌ها به مدیریت این امکان را می‌دهد که در صورت عدم توازن در تعداد تخت‌های بخش‌های درون شبکه جریان بیماران، با رعایت محدودیت فضا و امکان‌پذیری تبدیل بخش‌ها به یکدیگر جریان بیماران در شبکه متوازن گردد.

تخمین پارامترها

در این مدل θ یک بردار p *بعدی شامل تمام متغیرهای تصمیم است. اگر* تابع هدف $J(\theta)$ رابطه خطی با θ داشته باشد آنگاه می‌توان آن را با مجموعه‌ای از معادلات خطی وابسته به θ نشان داد. سپس مدل ساخته شده در دسته‌ی برنامه‌ریزی خطی یا برنامه‌ریزی ترکیبی عدد صحیح (اگر بخشی از θ شامل متغیرهای عدد صحیح باشد) جای می‌گیرد. در بهینه‌سازی مبتنی بر شبیه‌سازی تصادفی، اطلاعات اندکی از ساختار J موجود است، بدین ترتیب امکان

www.SID.ir

Archive of SID

محاسبه J به طور مستقیم وجود ندارد و از کمیت دیگری با نماد $L(\theta,\omega)$ استفاده می‌شود بطوریکه:

$$J(\theta) \equiv E[L(\theta,\omega)] \qquad (۱۵)$$

در این رابطه ω نشانگر تعداد تکرار در شبیه‌سازی است و $L(\theta,\omega)$ تخمین عملکرد یک نمونه‌ی حاصل از تکرار ω ام شبیه‌سازی را نشان می‌دهد[۳۴].

از آنجاییکه نرخ ورود و درمان بیماران در هر بخش متغیر تصادفی است، رابطه ای خطی بین برخی مقادیر مدل و تعداد تخت‌ها وجود ندارد. بنابراین، این مقادیر باید با استفاده از شبیه‌سازی محاسبه شود و سپس در مدل مورد استفاده قرار گیرد. این مقادیر عبارتند از:

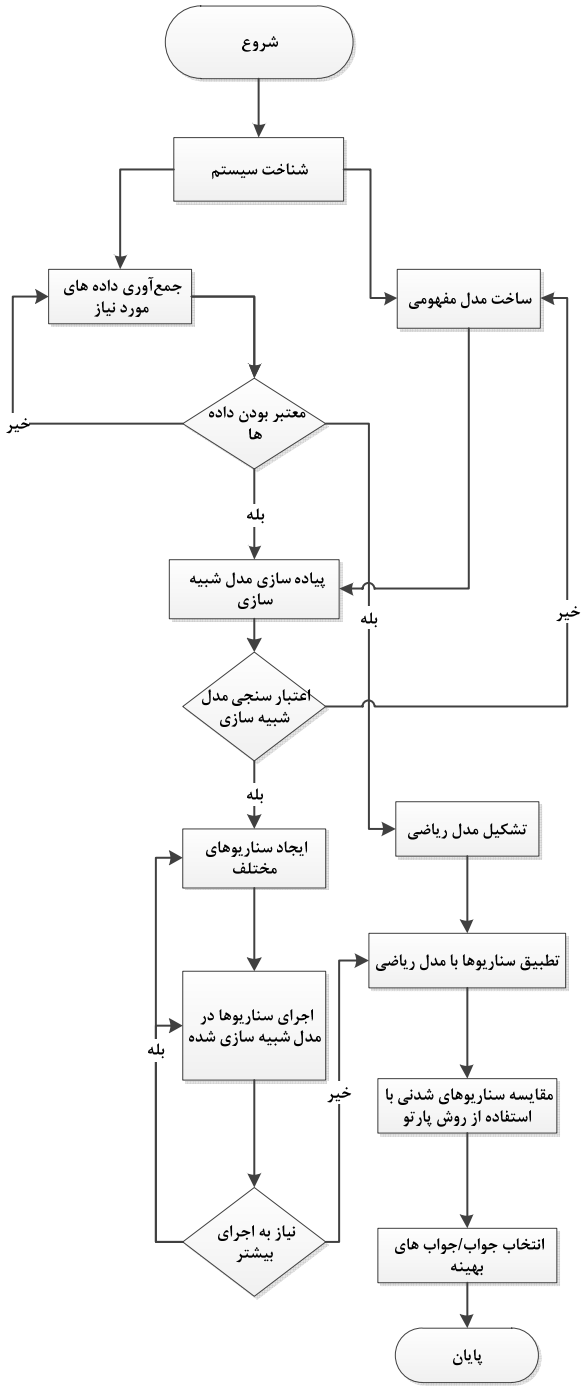
- مجموع زمان‌های انتظار
- متوسط زمان خالی بودن تخت
- تعداد بیماران بستری شده
- متوسط زمان بلوکه شدن بیماران

رویکرد حل

رویکرد کلی حل این مساله در شکل (۱) آمده است.

مطالعه موردی

به منظور نشان دادن کاربردپذیری رویکرد پیشنهادی در دنیای واقعی، مدل ارائه شده در بخش قلب بیمارستان مدرس تهران پیاده‌سازی می‌شود. عموماً جریان اصلی بیماران قلبی در مراکز درمانی در ۴بخش سی پی یو[1]، سی‌سی‌یو[2]، کت‌لب[3]، پست‌سی‌سی‌یو و بستری[4] بیماران قلبی انجام می‌گیرد. جامعه خبرگان از سه پرستار، دو سرپرستار، یک مسئول کت‌لب، یک پزشک متخصص قلب و مسئول پژوهش بیمارستان مدرس تشکیل شده است.



شکل(۱) – رویکرد کلی حل مدل ریاضی

پس از ساعت‌ها حضور در بیمارستان و بررسی جریان بیماران در بخش های قلبی و مصاحبه با متخصصان و پرستاران این بخش‌ها، با استفاده از مفروضات زیر و نرم‌افزار Arena یک مدل شبیه سازی از شرایط کنونی بخش های مختلف بیمارستان تهیه می‌شود:

[1] Chess Pain Unit (CPU)

[2] Coronary Care Unit (CCU)

[3] Catheterization Laboratory (Cath Lab)

[4] Ward

www.SID.ir

Archive of SID

بیمار پس از ورود به اورژانس بیمارستان، اگر مشکلش نارسایی قلبی تشخیص داده شود، این بیمار به سی پی یو انتقال داده می‌شود. این بخش که در واقع اورژانس بیماران قلبی نامیده می‌شود با تخصص بالاتری به این بیماران می‌پردازد. این بخش در کنار اورژانس اهدافی نظیر سرعت و راحتی بیشتر در پذیرش، انتظار کمتر در اورژانس و مراقبت و رسیدگی ساختاریافته‌تر و تخصصی‌تر نسبت به اورژانس که مختص به بیماران قلبی می‌باشد را دنبال می‌کند. در کت‌لب عمل رگ‌نگاری و رگ‌گشایی قلب انجام می‌گیرد. سی سی یو بخشی است که به طور ویژه از بیماران قلبی مراقبت می‌نماید، منظور از مراقبت ویژه قلبی، مراقبت پیوسته، دقیق و اختصاصی از بیمارانی است که در وضعیت تهدیدکننده حیات می‌باشند و نیازمند کنترل به وسیله پرسنل ماهر و با استفاده از وسایل و امکانات پیشرفته هستند. در واقع در بخش‌های ویژه قلبی مراقبت از بیماران بدحال، توسط ماهرترین پرسنل پزشکی و پرستاری و با بهره‌گیری از جدیدترین روش‌های فن-آوری انجام می‌شود.

بخش پست‌سی‌سی‌یو معمولا در مجاورت بخش سی‌سی‌یو قرار دارد و بیماران زمانی که وضعیت رو به بهبود دارند ولی همچنان نیاز به مراقبت ویژه دارند، به این بخش منتقل می‌شوند. وضعیت بیماران در این بخش نیز به طور کامل پایش می‌گردد و تفاوتی که با سی سی یو دارد در این است که تجهیزات متصل به بیماران مجهز به سیستم بی‌سیم است و ریتم قلبی تمام بیماران این بخش توسط یک پرستار کنترل می‌شود. این امر باعث می‌گردد که علاوه بر کم شدن هزینه برای بیمار و بیمارستان، درصد بلوکه شدن در سی پی یو کاهش یابد. زیرا جریان بیماران از سی سی یو روان‌تر دنبال می‌گردد. مزیت دیگر این بخش این است که بیمار می‌تواند تا حدی راه برود و این امر روند درمانی بیمار را سریع‌تر و وضعیت روحی بیمار را بهبود می‌بخشد. در صورت نبود این بخش بیماران باید در سی سی یو بستری باشند. از جمله خدمات قابل ارائه در بخش پست سی سی یو می‌توان به موارد زیر اشاره داشت:

ـ مراقبت ویژه از بیماران قلبی- عروقی پس از انتقال از سی سی یو

ـ آماده‌سازی بیماران برای انتقال به بخش داخلی یا ترخیص

ـ ارائه مراقبت از بیمارانی که نیاز به بستری در سی سی یو دارند(در صورت اشغال بودن)

پس از بهبودی نسبی بیماران، به منظور بهبودی کامل آن‌ها به بخش مراقبت عادی منتقل می‌گردند. تجهیزات این بخش برای بیماران غیر حاد مناسب است و بیمارانی که معمولا خطر بیماری قلبی را پشت سر گذاشته‌اند برای ثبات وضعیت و بهبود بیشتر در این بخش نگهداری می‌شوند. در این بخش بیماران به طور منظم زیر نظر پزشک معاینه می‌شوند ولی ریتم قلبی به طور مداوم بررسی نمی‌گردد.

ویژگی‌های جریان بیماران قلبی

در بخش‌های قلبی عموما تصمیم‌گیری‌ها براساس وضعیت اضطرار بیمار صورت می‌گیرد و گاها امکان دارد که بیمار با وضعیت وخیم‌تر جریان عمومی شبکه را تغییر دهد. با توجه به این موضوع یافتن چارچوبی کلی برای مدلسازی جریان بیماران قلبی از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. با مصاحبه از مسئول کت‌لب دریافت شد که جریان بیمارانی که با سکته قلبی به بیمارستان منتقل می‌شوند با بیماران دیگر تفاوتی ملموس دارد بدین ترتیب که این بیماران ابتدا باید به کت‌لب منتقل گردند، بدین ترتیب بیماران به دو دسته‌ی پرخطر و کم‌خطر دسته-بندی شدند. همچنین مصاحبه با پرستاران، پزشکان و همچنین مسئول ارتباط با پژوهش دانشگاه صحت این تقسیم بندی را اثبات نمود.

در بیماران در سی پی یو براساس ویژگی هایشان به دو دسته زیر قابل تقسیم می‌باشند:

۱. بیماران کم خطر: بیمارانی که وضعیتی به نسبت بهتر از بیماران پر خطر دارند و بسته به شدت وخامت، به یکی از بخش‌های سی سی یو، پست‌سی‌سی‌یو، بخش مراقبت عادی منتقل شده و یا ترخیص می‌گردند.

۲. بیماران پر خطر: بیمارانی که وضعیتی حاد دارند. این افراد معمولا با درد قلبی یا سکته قلبی به اورژانس مراجعه می‌کنند که وضعیت آنها بسیار وخیم بوده و ثانیه‌ها در این بیماران سرنوشت‌ساز می‌باشد. آنها بعد از سی‌پی‌یو حتما به کت‌لب منتقل می‌شوند.

این پاراگراف می تواند به شیوه ای رسمی تر و مختصرتر بازنویسی شود.

بیماران پرخطر عموما بعد از بستری در سی‌پی یو به کت‌لب نیاز دارند و ورود آن‌ها به کت‌لب باید در سریع‌ترین زمان ممکن صورت گیرد. کت‌لب خود برنامه روزانه‌ای برای بیماران دارد ولی بیماران پرخطر از اولویت بالاتری برخوردارند و به محض اینکه کت‌لب خالی گردید این بیماران در کت‌لب

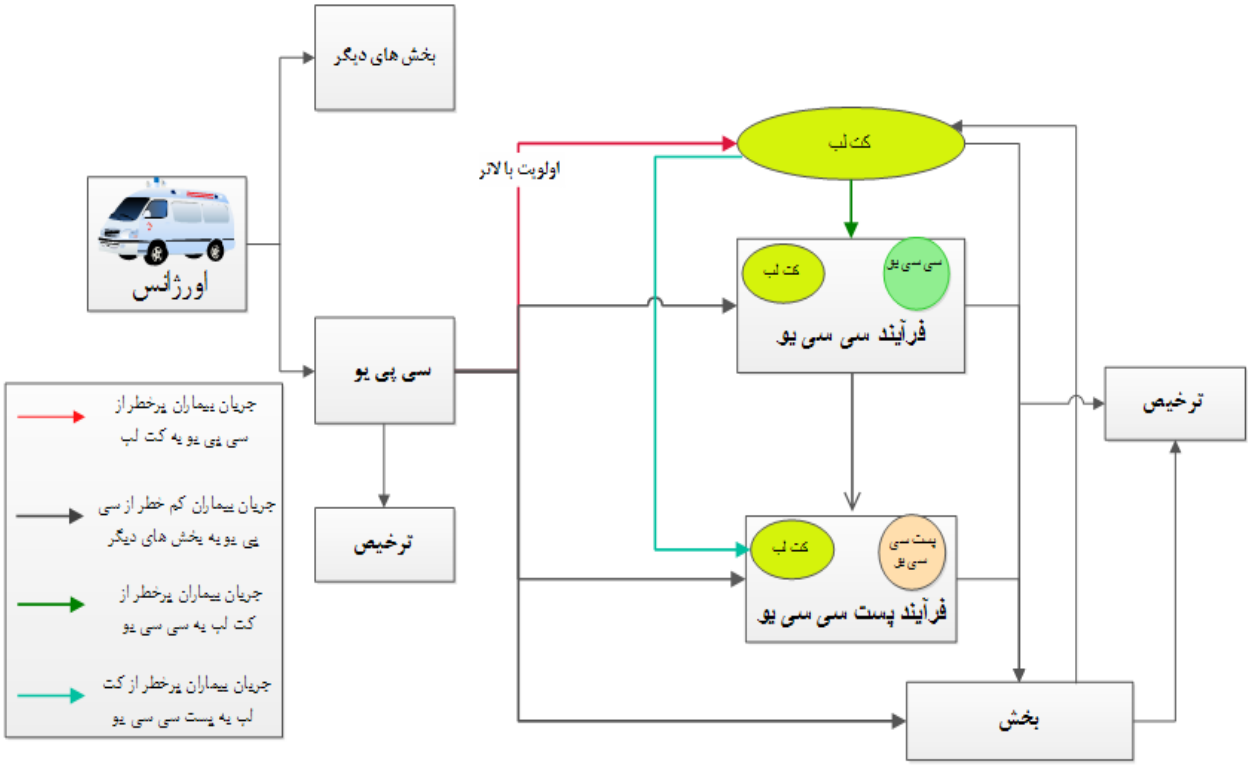
www.SID.ir

Archive of SID

بستری می‌گردند و بعد از آن بسته به شرایط بیمار به سی سی یو یا پست سی سی یو منتقل می‌شوند. البته این امر تا زمانی برقرار است که سی سی یو یا پست سی سی یو تخت خالی داشته باشد. برای رفع این مشکل، زمانی که بیمار پرخطر به سی پی یو آورده می‌شود تخت وی در سی سی یو یا پست‌سی‌سی‌یو رزرو می‌گردد و اگر این بخش‌ها پر باشند، پرستاران با انتقال بیماران رو به بهبود به بخش‌های دیگر مانند بخش قلب، تخت خالی برای بیمار پرخطر مهیا می‌سازند و این فرآیند قبل از رفتن بیمار به کت‌لب رخ می‌دهد زیرا اگر بیمار پرخطر قبل از این فرآیند به کت‌لب منتقل شود و فرآیند خالی کردن تخت بیشتر از فرآیند کت‌لب به طول انجامد، محلی برای انتظار بیمار در کت‌لب وجود ندارد. پس پرستاران ابتدا از وجود تخت در سی سی یو یا پست‌سی‌سی‌یو برای بیمار پرخطر مطمئن شده و بعد وی را به کت‌لب انتقال می‌دهند. بیماران کم‌خطر هم بسته به وضعیتشان به یکی از بخش‌های سی سی یو، پست‌سی‌سی‌یو و یا بخش قلب منتقل و یا ترخیص می‌گردند. در سی سی یو و پست‌سی‌سی‌یو بیمار اگر به کت‌لب فرستاده شود، تخت وی حفظ شده و می‌توان فرآیند کت‌لب را جزو فرآیند سی سی یو و پست‌سی‌سی‌یو در نظر گرفت. در هنگام انتقال بیماران از سی سی یو به پست‌سی‌سی‌یو، اگر پست‌سی‌سی‌یو پر باشد، بیمار تا زمان خالی شدن تخت، در سی سی‌یو می‌ماند. شکل (۲) جریان کلی بیماران قلبی را در مراکز درمانی نشان می‌دهد. با توجه به مطالب ذکر شده و نحوه ارتباط بخش‌ها، می‌توان گفت که جریان بیماران از یک شبکه‌ی صف پیروی می‌کند و اگر تعداد تخت در هر یک از این بخش‌ها کم باشد، باعث ایجاد صف و افزایش انتظار بیماران و بلوکه شدن بعضی بخش‌ها می‌شود.

حالات مختلف بلوکه شدن بیماران در بخش قبل به دلیل پر بودن بخش بعد را می توان به صورت زیر بیان کرد:

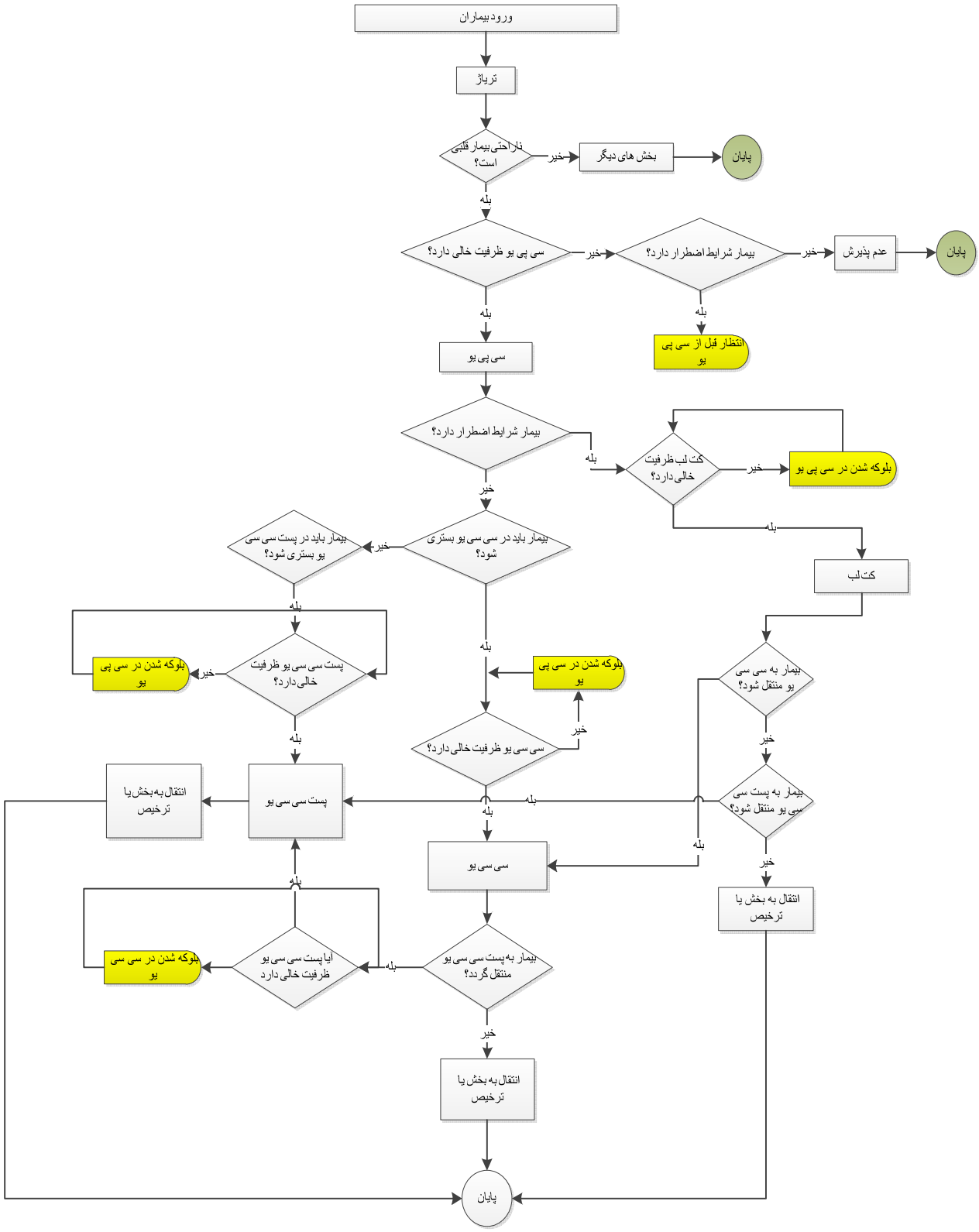
- از اورژانس به سی‌پی‌یو
- از سی‌پی‌یو به سی‌سی یو
- از سی‌سی یو به پست سی‌سی یو
- از سی‌پی‌یو به پست‌سی‌سی‌یو
- از سی‌پی‌یو به کت‌لب



شکل ۲: جریان بیماران قلبی

www.SID.ir

Archive of SID



شکل ۳: روند کلی جریان در بخش های قلبی بیمارستان

www.SID.ir

Archive of SID

بنابراین هر بخشی که تعداد تخت پایینی داشته باشد بر بلوکه شدن سایر بخشها تاثیر گذار است. از طرف دیگر با زیاد شدن تخت‌های بخش‌ها، هزینه‌های بیمارستان نیز افزایش می‌یابد. بنابراین در این حالت باید تعداد تخت‌های هر بخش طوری تعیین گردد که هم زمان انتظار بیماران و هم هزینه‌های بیمارستان حداقل شود.

بدیهی است که اهمیت تعداد بیماران بلوکه شده در هریک از حالات بالا با هم یکسان نیست. بدین ترتیب در این تحقیق برای یکسان‌سازی اهمیت بلوکه شدن در هر بخش به هر حالت از بلوکه شدن بیماران یک وزن (α_i عددی بین صفر و یک) تخصیص داده شده است، بطوری که مجموع این اوزان برابر یک است. با این کار، جمع تعداد بیماران بلوکه شده انجام‌پذیر می‌گردد.

روند کلی جریان در بخش های قلبی بیمارستان در شکل (۳) نشان داده شده است.

بنا به محدودیت‌های مدیریتی و هزینه بالای عملیاتی، تعداد تخت‌های کت‌لب غیر قابل تغییر است. ولی تعداد تخت‌های سی سی یو، سی سی یو و پست‌سی‌سی‌یو بنا به محدودیت‌های مساله قابل تغییر می‌باشد. به دلیل فاصله زیاد بخش سی‌پی‌یو با سی سی یو و پست‌سی‌سی‌یو امکان استفاده از فضای مشترک بین سی پی یو با این دو بخش وجود ندارد. ولی در سی سی یو و پست‌سی‌سی‌یو این امکان وجود دارد که بخش‌ها از فضای یکدیگر استفاده کنند.

در ادامه عدد ۱ نماد سی پی یو ، عدد ۲ نماد سی سی یو و عدد ۳ نماد پست‌سی‌سی‌یو است. بدین ترتیب x_i^+ نشان دهنده‌ی افزایش تعداد تخت در بخش i و x_i^- نشاندهنده‌ی کاهش تخت در بخش i می‌باشد.

در جدول ۳ پرسنل مورد نیاز در هر بخش آورده شده است. با توجه به استاندارد هایی که بیمارستان تعریف کرده است روابط بین تعداد پرسنل هر بخش و تعداد تخت بدست آمد که در جدول ۴ نمایش داده شده است.

جدول ۳. پرسنل هر بخش

پرسنل / بخش	متخصص	پزشک	سرپرستار	پرستار	مددکار
سی پی یو		✓	✓	✓	
سی سی یو	✓	✓	✓	✓	✓
پست‌سی‌سی‌یو	✓	✓	✓	✓	✓

جدول ۴. روابط مربوط به تعداد پرسنل با تعداد تخت هر بخش

پرسنل / بخش	متخصص	پزشک	سرپرستار	پرستار	مددکار
سی پی یو	-	۵	۵	۲.۵	-
سی سی یو	۴	۵	۱۰	۳	۳
پست‌سی‌سی‌یو	۴	۵	۶	۶	۳

به عنوان مثال از جدول ۴، برای هر ۵ تخت سی پی یو به ۱ پزشک نیاز است.

سایر اطلاعات مربوط بخش ها از جمله مساحت هر تخت، حداکثر مساحت مجاز به افزایش، حداقل و حداکثر بهره‌وری در جدول ۵ گزارش شده است.

جدول ۵. اطلاعات مربوط به مساحت بخش‌ها

بخش	مساحت هر تخت	حداکثر مساحت مجاز به افزایش	حداقل بهره‌وری	حداکثر بهره‌وری
سی پی یو	۷/۵	۱۵	۰.۳	۰.۶۵
سی سی یو	۷	۱۴	۰.۵	۰.۸۵
پست‌سی‌سی‌یو	۷	۷	۰.۵	۰.۹

www.SID.ir

Archive of SID

اگر بهره وری بخشی برابر یک باشد، از یک سو باعث صرفه جویی در هزینه ها می‌شود اما در مواقع اضطراری تراکم کاری بسیار بالا می رود و ممکن است صدمات جبران ناپذیری به بار آید. از این رو وجود تخت خالی از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. به همین دلیل مدیران بیمارستان، حداکثر بهره وری مجاز برای بخش های مختلف را مقداری کمتر از یک تعریف می‌کنند.

با استفاده از سیستم مدیریت اطلاعات بیمارستان و همچنین مراجعه حضوری به بیمارستان در ساعات و روزهای مختلف، زمان ورود و خروج بیماران کم خطر و پر خطر به بخش های مختلف استخراج شد. این اطلاعات به وسیله نرم افزار Minitab مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفت و توزیع های آماری مربوطه به دست آمد. این توزیع ها در جدول ۶ گزارش شده است.

جدول ۶: توزیع ورود و سرویس بیماران در هر بخش

توضیحات	توزیع
ورود بیماران کم‌خطر به سی پی یو	$Pois(\lambda_1 = 7.35)$
ورود بیماران پرخطر به سی پی یو	$Pois(\hat{\lambda}_1 = 1.18)$
سرویس بیماران کم‌خطر در سی پی یو	$weibull(1.58, 0.13)$
سرویس بیماران پرخطر در سی پی یو	$weibull(1.58, 0.09)$
سرویس بیماران سی سی یو	$\log normal(1.03, 1.07)$
سرویس بیماران پست‌سی‌سی‌یو	$weibull(0.86, 0.60)$

با استفاده از اطلاعات گفته مذکور مدل شبیه سازی از شرایط فعلی بخش های قلبی بیمارستان تهیه شد و مورد تایید مدیریت بیمارستان قرار گرفت.

حال به منظور حل مدل ریاضی و بررسی سناریو های مختلف نیاز به استخراج هزینه های بیمارستان است. این هزینه ها در مدل ریاضی رویکرد ارائه شده استفاده خواهد شد. جزییات این هزینه ها در جدول ۷ آورده شده است.

از طریق جلسات و هم‌فکری با مدیران و متخصصان بیمارستان سناریو های مختلفی پیشنهاد شد. اما با توجه به مدل ریاضی ارائه شده، ۳۱ سناریو قابل اجرا برای تغییر در تخت های بخش های مختلف بیمارستان ارائه گردید. جدول ۸ وضعیت موجود و سناریو های قابل اجرا، به همراه متوسط تعداد بیماران بلوکه شده در هر بخش و متوسط هزینه افزوده شده را نشان می‌دهد. همچنین در جدول ۸ مقدار بهره‌وری تخت‌ها بعد از اعمال تغییرات نیز آمده است. لازم به ذکر است که در این جدول سناریوهای ۷، ۱۸، ۱۹ و ۳۰ به دلیل بالاتر بودن نرخ بهره‌وری در سی‌سی‌یو از حد مجاز قابل پذیرش نمی‌باشند.

جدول ۷: هزینه‌های بیمارستان مدرس (درمیلیون ریال)

هزینه / بخش	افزایش تخت	کاهش تخت	هزینه افزایش پرسنل خدمات در ماه	هزینه افزایش مددکار در ماه	هزینه افزایش پرستار در ماه	هزینه افزایش پزشک عمومی در ماه	هزینه افزایش پزشک متخصص در ماه	کاهش پرسنل خدمات	کاهش مددکار	کاهش پرستار	کاهش سرپرستار	کاهش پزشک	کاهش پزشک متخصص	هزینه نگهداری و تعمیرات در ماه	هزینه فرصت از دست رفته در ماه
سی‌پی‌یو	۲۰۰۰	۲۰۰	۱۱	-	۱۵	۲۷	-	۵۰	-	۸۰	۱۰۰	۱۴۰	-	۱۵	۷۰
سی‌سی‌یو	۲۵۰۰	۲۵۰	۱۰	۱۲	۱۵.۵	۲۸	۵۰	۵۰	۶۰	۸۰	۱۰۰	۱۴۰	۲۲۰	۱۷	۹۰
پست‌سی‌سی‌یو	۱۸۰۰	۱۸۰	۱۰	۱۲	۱۵.۵	۲۸	۵۰	۵۰	۶۰	۸۰	۱۰۰	۱۴۰	۲۲۰	۱۲	۶۰

ـ علامت خط تیره (-) بدین معنا است که این بخش نیاز به پرسنل مورد نظر ندارد.

ـ هزینه فرصت از دست رفته، هزینه خالی بودن تخت در بخش i به مدت ۱ ماه کاری است.

در شکل ۴ نمودار پراکندگی متوسط بیماران بلوکه شده و متوسط هزینه سناریو های قابل اجرای بدست آمده از جدول ۸ نمایش داده شده است. با استفاده از این نمودار سناریوهای ۱۰، ۲۱، ۱۶، ۱۴، ۱۳، ۲۹، ۲۷ و ۲۴ به عنوان بهترین سناریو مطرح می‌شود. در واقع این ها جواب های بهینه پارتو هستند که به طور حتم نمی توان گفت کدامیک

www.SID.ir

Archive of SID

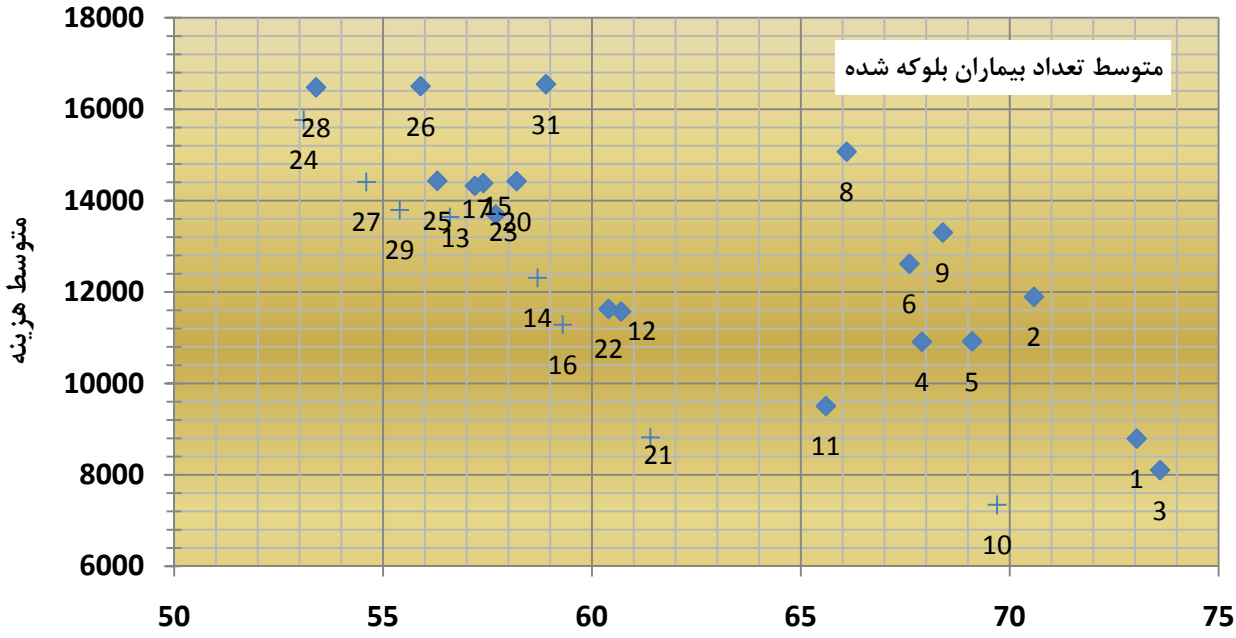
بهتر است. به منظور تصمیم گیری نهایی، این سناریوها به مدیریت بیمارستان مدرس تهران ارائه شد. از آنجایی که متوسط بیماران بلوکه شده با متوسط هزینه ها رابطه عکس دارد، مدیریت بنا بر هزینه های جاری بیمارستان و مقدار بیماران بلوکه شده بیمارستان یکی از این سناریو ها را بر خواهد گزید.

جدول ۸. سناریوهای قابل اجرا در بیمارستان

تعداد تخت / سناریو	سی‌پی‌یو	سی‌سی‌یو	پست‌سی‌سی‌یو	سی‌پی‌یو		سی‌سی‌یو		پست‌سی‌سی‌یو		متوسط تعداد بیماران بلوکه شده	متوسط هزینه	بهره‌وری(درصد)		
				x_1^+	x_1^-	x_2^+	x_2^-	x_3^+	x_3^-			سی‌پی‌یو	سی‌سی‌یو	پست‌سی‌سی‌یو
وضعیت فعلی	**۵**	**۲۱**	**۸**	–	–	–	–	–	–	**۷۵.۲۶۱**	–	**۴۲**	**۷۹**	**۷۸**
۱	۵	۲۲	۸	–	–	۱	–	–	–	۷۳.۰۴	۸۷۹۱	۴۰	۷۶	۷۹
۲	۵	۲۳	۸	–	–	۲	–	–	–	۷۰.۵۸	۱۱۸۹۳	۴۱	۷۴	۸۱
۳	۵	۲۱	۹	–	–	–	–	۱	–	۷۳.۶	۸۱۰۳	۴۴	۸۰	۷۳
۴	۵	۲۲	۹	–	–	۱	–	۱	–	۶۷.۹	۱۰۹۱۱	۴۳	۷۸	۷۶
۵	۵	۲۰	۱۱	–	–	–	۱	۳	–	۶۹.۱	۱۰۹۱۸	۴۲	۸۵	۶۶
۶	۵	۲۰	۱۲	–	–	–	۱	۴	–	۶۷.۶	۱۲۶۱۶	۴۲	۸۳	۶۲
۷	۵	۱۹	۱۲	–	–	–	۲	۴	–	۶۶.۴	۱۳۰۰۱	۴۲	۷۸	۶۰
۸	۵	۱۹	۱۳	–	–	–	۲	۵	–	۶۶.۱	۱۵۰۶۹	۴۲	۸۴	۶۲
۹	۵	۲۴	۷	–	–	۳	–	–	۱	۶۸.۴	۱۳۳۰۱	۴۲	۷۲	۸۳
۱۰	۶	۲۱	۸	۱	–	–	–	–	–	۶۹.۷	۷۳۴۵	۳۷	۸۱	۷۸
۱۱	۶	۲۲	۸	۱	–	۱	–	–	–	۶۵.۶	۹۵۰۴	۳۷	۷۹	۸۰
۱۲	۶	۲۲	۹	۱	–	۱	–	۱	–	۶۰.۷	۱۱۵۷۲	۳۷	۷۷	۷۶
۱۳	۶	۲۲	۱۰	۱	–	۱	–	۲	–	۵۶.۶	۱۳۶۴۰	۳۹	۷۹	۷۰
۱۴	۶	۲۳	۸	۱	–	۲	–	–	–	۵۸.۷	۱۲۳۱۱	۴۱	۷۸	۸۲
۱۵	۶	۲۳	۹	۱	–	۲	–	۱	–	۵۷.۴	۱۴۳۸۰	۴۲	۷۵	۷۹
۱۶	۶	۲۰	۱۱	۱	–	–	۱	۳	–	۵۹.۳	۱۱۲۸۶	۴۲	۸۵	۶۶
۱۷	۶	۲۰	۱۲	۱	–	–	۱	۴	–	۵۷.۲	۱۴۳۲۱	۳۸	۸۳	۶۳
۱۸	۶	۱۹	۱۲	۱	–	–	۲	۴	–	۵۸.۶	۱۲۸۷۱	۳۸	۸۸	۶۱
۱۹	۶	۱۹	۱۳	۱	–	–	۲	۵	–	۵۶.۲	۱۵۸۰۷	۳۹	۸۹	۶۱
۲۰	۶	۲۴	۷	۱	–	۳	–	–	۱	۵۸.۲	۱۴۴۲۳	۳۳	۷۵	۸۲
۲۱	۷	۲۱	۸	۲	–	–	–	–	–	۶۱.۴	۸۸۲۰	۳۵	۸۳	۸۱
۲۲	۷	۲۲	۸	۲	–	۱	–	–	–	۶۰.۴	۱۱۶۲۷	۳۶	۷۷	۷۹
۲۳	۷	۲۲	۹	۲	–	۱	–	۱	–	۵۷.۷	۱۳۶۹۵	۳۷	۸۱	۷۴
۲۴	۷	۲۲	۱۰	۲	–	۱	–	۲	–	۵۳.۱	۱۵۷۶۳	۳۳	۷۹	۷۱
۲۵	۷	۲۳	۸	۲	–	۲	–	–	–	۵۶.۳	۱۴۴۳۱	۳۷	۷۶	۷۸
۲۶	۷	۲۳	۹	۲	–	۲	–	۱	–	۵۵.۹	۱۶۵۰۲	۳۵	۷۷	۷۸
۲۷	۷	۲۰	۱۱	۲	–	–	۱	۳	–	۵۴.۶	۱۴۴۰۹	۳۳	۸۵	۶۷
۲۸	۷	۲۰	۱۲	۲	–	–	۱	۴	–	۵۳.۴	۱۶۴۷۷	۳۷	۸۳	۶۴
۲۹	۷	۱۹	۱۱	۲	–	–	۲	۳	–	۵۵.۴	۱۳۷۹۴	۳۶	۸۵	۶۷
۳۰	۷	۱۹	۱۳	۲	–	–	۲	۵	–	۵۴.۸	۱۷۹۳۰	۳۸	۸۷	۵۸
۳۱	۷	۲۴	۷	۲	–	۳	–	–	۱	۵۸.۹	۱۶۵۴۶	۳۵	۷۳	۸۴

www.SID.ir

Archive of SID



شکل ۴: نمودار پراکندگی سناریو های قابل اجرا

در شکل ۴ با مقایسه تابع هدف ۳۱ سناریوی شدنی، فقط هشت سناریو که از نظر متوسط تعداد بیمار بلوکه شده و متوسط هزینه بیمارستان نسبت به یکدیگر ناچیره بودند بهترین سناریوها شدند.

نتیجه‌گیری

تعداد تخت در مراکز درمانی رابطه مستقیم با پذیرش یا عدم‌پذیرش بیماران دارد. از این رو، برنامه ریزی ظرفیت در مرگ و زندگی بیماران موثر است. هر چند که مدیران مراکز درمانی بر این امر واقفند، ولی برای افزایش یا تغییر ظرفیت هر بخش با محدودیت‌های بسیاری مواجه هستند و مساله اصلی این است که این تغییر چقدر می‌تواند بر بهبود جریان بیمار تاثیر گذارد. در این تحقیق رویکردی ارائه شد که ظرفیت مراکز درمانی به گونه‌ای تعیین شود که علاوه بر کم‌کردن بلوکه شدن بیماران در بخش‌ها و بهبود جریان بیماران، هزینه های بیمارستان نیز کمینه گردد. در این رویکرد محدودیت‌ها در قالب مدل ریاضی بیان شد تا سناریوهای معتبر به مدیران بیمارستانی ارائه گردد. در مثال عددی جریان بیمار در شبکه قلبی بیمارستان مدرس با جزئیات کامل شبیه‌سازی شد. داده های استفاده شده در شبیه‌سازی از بیمارستان با مشاهدات و سیستم اطلاعاتی بیمارستان مدرس جمع‌آوری شده است. از میان سناریوهای بسیار زیادی که می‌توان برای تغییر تعداد تخت در بیمارستان متصور شد با مدل‌سازی ریاضی تنها ۳۱ سناریو شدنی در مرحله اول انتخاب گردید، سپس هر سناریو شبیه‌سازی شد و سناریوهای برتر مشخص گردید. همانطور که در جدول ۸ مشخص است از بین ۳۱ سناریو ۴ سناریو بدلیل نقض محدودیت حداکثر بهره وری نامعتبر شناخته شدند. همانطور که اشاره شد در شکل ۴ بهترین سناریوها مشخص شدند. این رویکرد به مدیران بیمارستان این امکان را می‌دهد که بهترین سناریو را نسبت به وضعیت و محدودیت‌های موجود و سیاست-های هزینه‌ای و درمانی بیمارستان انتخاب کنند.

در ایران هنوز بسیاری از مراکز درمانی قلبی به بخش پست سی سی یو مجهز نیستند و این تحقیق می‌تواند با بررسی حالات وجود و عدم وجود این بخش به مدیران سلامت بهترین وضعیت تغییر از حالت فعلی را نشان دهد.

در این تحقیق در تابع هدف متوسط تعداد بیماران منتظر لحاظ شد در صورتی که می‌توان در تحقیقات آتی از متوسط زمان انتظار و متوسط زمان بلوکه شدن بیماران استفاده کرد. فضای انتظار برای هر بخش نیز می‌تواند به عنوان متغیر تصمیم در مدل لحاظ گردد. همچنین محدودیت‌هایی نظیر دسترس‌پذیری پزشک می‌تواند در نظر گرفته شود. همچنین می‌توان کیفیت درمان را تابعی از تعداد پزشک، پرستار و پرسنل دیگر تعریف نمود و به صورت تابع هدف آنرا بیشینه کرد.

در نهایت این مدل به آسانی قابل تطبیق بر سایر بیمارستان ها است. به طور مثال جریان بیماران در آی سی یو و پست آی سی یو نیز بسیار به مطالعه موردی تحقیق شباهت دارد. با این حال با در نظر گرفتن شبکه‌ی جریان بیماران، می‌توان این مدل را بکار بست.

www.SID.ir

Archive of SID

References

1. T.H. Burwell, M.A. Mcknew, and J.P. Jarvis, An application of a spatially distributed queueing model to an ambulance system. Socio-Economic Planning Sciences, 1992. 26(4): p. 289–300.
2. Pengfei Yi, et al., Hospital capacity planning for disaster emergency management. Socio-Economic Planning Sciences 2010. 44: p. 10.
3. Kurt M. Bretthauer, et al., Blocking in Healthcare Operations: A New Heuristic and an Application. Production/operation management, 2011. 20.
4. Phibbs, C.S., et al., Level and volume of neonatal intensive care and mortality in very-low-birth-weight infants. N. Engl. J. Med, 2007. 356(21): p. 2165–2175.
5. Aiken, L.A., et al., Hospital nurse staffing and patient mortality, nurse burnout, and job dissatisfaction. J. Am. Med. Assoc., 2002. 288(16): p. 1987–1993.
6. Haraden, C. and R. Resar, Patient flow in hospitals: Understanding and controlling it better. Health Serv. Manage, 2004. 20(4): p. 3-15.
7. (IOM), I.o.M., Hospital-Based Emergency Care: At the Breaking Point, 2006, National Academies Press: Washington, DC.
8. (GAO), G.A.O., Hospital emergency departments: Crowded conditions vary among hospitals and communities, 2003, GAO-03-460.
9. El-Darzi, E., et al., A simulation modelling approach to evaluating length of stay, occupancy, emptiness and bed blocking in a hospital geriatric department. Health Care Management Science, 1998. 1: p. 143–149.
10. J.C. Hershey, E.N. Weiss, and M.A. Cohen, A stochastic service network model with application to hospital facilities Operations Research, 1981. 29: p. 1-22.
11. Naoru Koizmui, ERI KUNO, and T.E. SMITH, Modeling Patient Flows Using a Queuing Network with Blocking. Health Care Management Science, 2005. 8: p. 49-60.
12. COCHRAN, J. and BHARTI, Stochastic bed balancing of an obstetrics hospital. Health Care Management Science, 2006. 9(31-45).
13. K.M. Bretthauer, et al., Blocking in healthcare operations: a new heuristic and an application, . Production and Operations Management 2011. 20(3).
14. Lin•, D., J. Patrick•, and F. Labeau, Estimating the waiting time of multi-priority emergency patients with downstream blocking. Health Care Manag Sci, 2014. 17: p. 88–99.
15. Allyson M. Best, et al., Using discrete event computer simulation to improve patient flow in a Ghanaian acute care hospital. American Journal of Emergency Medicine, 2014. 32: p. 917–922.
16. Guoxuan Ma and E. Demeulemeester, A multilevel integrative approach to hospital case mix and capacity planning. Computers & Operations Research, 2013. 10.
17. Thomas R. Rohleder , et al., Using simulation modeling to improve patient flow at an outpatient orthopedic clinic. Health Care Manag Sci, 2011. 135–145(14).
18. Lalit Garg , et al., A non-homogeneous discrete time Markov model for admission scheduling and resource planning in a cost or capacity constrained healthcare system. Health Care Manag Sci, 2010. 13: p. 155–169.
19. Pengfei Yi, S.K.G., Jomon Aliyas Paul, Li Lin, Hospital capacity planning for disaster emergency management. Socio-Economic Planning Sciences, 2010. 44: p. 151–160.
20. Jeffery K. Cochran and K.T. Roche, Amulti-class queuing network analysis methodology for improving hospital emergency department performance. Computers& Operations Research, 2009. 16(36): p. 1497-1512.
21. Carolina Osorio and M. Bierlaire, An analytic finite capacity queueing network model capturing the propagation of congestion and blocking. European Journal of Operational Research, 2009. 12(196): p. 996-1007.
22. J.P. Oddoye a, et al., Combining simulation and goal programming for healthcare planning in a medical assessment unit. European Journal of Operational Research, 2009. 193: p. 250–261.
23. Kokangul, A., A combination of deterministic and stochastic approaches to optimize bed capacity in a hospital unit. computer methods and programs in biomedicine, 2008. 10.
24. Rodrigo B. Ferreira , et al., Optimizing patient flow in a large hospital surgical centre by means of discrete-event computer simulation models. Journal of Evaluation in Clinical Practice, 2008. 7.
25. Diwakar Gupta, et al., Capacity planning for cardiac catheterization: A case study. Health Policy, 2007. 82: p. 1-11.
26. Arnoud M. de Bruin, et al., Modeling the emergency cardiac in-patient flow: an application of queuing theory. Health Care Manage Sci, 2007.
27. E. Akcali, M.J. Cote, and C.-I. Lin, A network flow approach to optimizing hospital bed capacity decisions. Health Care Manage. Sci, 2006(9): p. 391-304.
28. J.M. Nguyen, et al., A simple method to optimize hospital beds capacity. Int. J. Med. Inform, 2005(74): p. 39–49.
29. M. Utley, et al., Estimating bed requirements for an intermediate care facility. Eur. J. Oper. Res, 2003(150): p. 92-100.
30. F. Gorunescu, S.I.M., P.H. Millard, Using a queuing model to help plan bed allocation in a department of geriatric medicine. Health Care Manage. Sci, 2002(5): p. 307-312.
31. P.R. Harper and A.K. Shahani, Modeling for the planning and management of bed capacities in hospitals. J. Oper. Res. Soc, 2002. 53: p. 19-24.
32. Cote, M.J., patient flow and resource utilization in an outpatient clinic. Socio-Economic Planning Sciences, 1999. 15(33): p. 231-245.
33. seung-chul kim, et al., analysis of capacity management of the imtensive care unit in a hospital. European Journal of Operational Research, 1999. 11(115): p. 36-46.
34. Chen, C.-H. and L.H. Lee, STOCHASTIC SIMULATION OPTIMIZATION Vol. 1. 2011: World Scientific.

www.SID.ir

Archive of SID

Planning and Management of Patient Flow and Bed Capacities of Cardiac Ward with Mathematical Modeling and Discrete Event Simulation Approach

Afsahi,M[1].Sepehri,MM[2].Ameri,E[3].

Submitted: 2014.4.24 Accepted: 20151.30

Abstract

Background: Deciding on the number of hospital beds is one of the most serious challenges managers face. More hospital beds result in higher running cost although less hospital beds might cause disorder in patients flow. Minimizing total cost besides maximizing the patients flow in a hospital network, considering the practical limitations is the main objective of this survey.

Materials & Methods: This study had main steps to investigate following: identifying current limitations of changing capacity of each ward, by conducting interview with hospital managers and other personnel of Modares hospital, analyzing cardiac patient flow analysis, simulating current flow, determining practical scenarios and choosing the best among them by mathematical modeling could minimize total cost and maximize patient flow.

Results: 31 practical scenarios have been determined and analyzed by surveying limitations among all existing scenarios. Finally, eight best scenarios had been selected. Results showed that decreasing the number of beds in CCU and increasing the number of beds in Post-CCU can improve patients flow, considering cost limitations.

Conclusion: A recommended approach in this study can be a general guide for capacity planning with taking practical limitations into consideration. This survey could be useful for the managers who are against the benefits of post CCU by comparing the patient flow with and without this ward.

Keywords: Capacity Planning, Cardiac Patient Flow Network, Mathematical Modeling, Discrete Event Simulation

[1] MA, Department of Industrial Engineering,School of Engineering , Tarbiat Modares University. mohsen.afsahi@modares.ac.ir

[2] Associate Professor Department of Industrial Engineering School of Engineering , Tarbiat Modares University .mehdi.sepehri@modares.ac.ir

[3] MA,Department of Industrial Engineering, School of Engineering, Tarbiat Modares University ,ehsan.ameri@modares.ac.ir

www.SID.ir