

## توسعه یک مدل دو مرحله‌ای احتمالی برای مکان‌یابی سلسله‌مراتبی مراکز درمانی بیماری‌های قلبی با در نظر گرفتن نرخ خدمت‌دهی (یک مطالعه موردی در مرکز قلب تهران)

زهره کاهه<sup>۱</sup>، علی حسین زاده کاشان<sup>۲\*</sup>

تاریخ پذیرش: ۹۵/۵/۲۳

تاریخ دریافت: ۹۳/۶/۲۴

### چکیده:

**زمینه و هدف:** مکان‌یابی مراکز درمانی از جمله مسائل مهمی است که باید از ابعاد متفاوت و با هدف ارتقای خدمت‌دهی به آن توجه شود. در این مقاله، مسئله مکان‌یابی حداکثر پوشش سلسله‌مراتبی مراکز درمانی بیماری‌های قلبی با دو سطح خدمت‌دهی شامل کلینیک و بیمارستان و با در نظر گرفتن نرخ خدمت‌دهی به بیماران قلبی بررسی شد. هدف اولیه حداقل نمودن نقاط تقاضای پوشش نیافته، و هدف ثانویه کمینه‌سازی نرخ تقاضاهای از دست‌رفته به عنوان معیاری برای حفظ بیماران بالقوه در شعاع پوشش بود.

**روش:** به منظور تحلیل سیستم‌های صف، سیستم نوبت‌دهی مرکز قلب تهران بررسی شد. روش پیشنهادی یک مدل برنامه‌ریزی ریاضی دو مرحله‌ای احتمالی است. به منظور ارزیابی مدل پیشنهادی چند مثال عددی در نرم‌افزار GAMS اجرا شد.

**نتایج:** نتایج نشان داد بهترین حالت برای احداث مراکز درمانی، احداث کلینیک در مجاورت یک بیمارستان است. اتخاذ تصمیم در ارتباط با مکان‌یابی مراکز درمانی، با در نظر گرفتن نرخ خدمت‌دهی به بیماران در هر یک از مراکز درمانی موجب افزایش اعتماد به نتیجه حاصل از مدل بهینه‌سازی و کاهش هزینه‌ها و نرخ تقاضای از دست‌رفته شده است.

**نتیجه‌گیری:** مدل پیشنهادی قادر است با الگو قرار دادن مراکز درمانی در مناطق با طیف جمعیتی مشابه، به تصمیم‌گیرندگان برای استقرار بهینه مراکز درمانی در مناطق محروم یاری رساند. مکان‌یابی کلینیک‌ها و بیمارستان‌ها با در نظر گرفتن حالت سلسله‌مراتبی و نرخ خدمت‌دهی در آنها، موجب افزایش رفاه بیماران خواهد شد.

**کلمات کلیدی:** سیستم‌های خدمات درمانی، مکان‌یابی سلسله‌مراتبی، مدل دو مرحله‌ای احتمالی، تئوری صف

<sup>۱</sup> کارشناسی ارشد مهندسی صنایع، مدیریت سیستم و بهره‌وری، دانشگاه تربیت مدرس، تهران، ایران

<sup>۲</sup> استادیار، مهندسی صنایع، دانشگاه تربیت مدرس، تهران، ایران؛ (\*نویسنده مسئول)،

آدرس الکترونیکی: a.kashan@modares.ac.ir، تلفن: ۰۲۱-۸۲۸۸۴۳۹۸

**مقدمه:**

مکان یابی مراکز درمانی یکی از موضوعات مهمی است که تصمیم‌گیری در مورد آن باید در راستای ارتقای سلامت افراد جامعه باشد. چه بسا در صورتی که این تصمیم در رابطه با مراکز درمانی مختلف نظیر بیمارستان، کلینیک‌ها و ... به صورت یکپارچه و با در نظر گرفتن ارجاع دهی بیماران با توجه به امکانات در هر یک از این مراکز اتخاذ شود، موجب رفاه بیشتر بیماران و مراجعان می‌شود.

سیستم سلسله مراتبی به سیستمی اطلاق می‌شود که تسهیلات آن به صورت یک طرفه از بالا به پایین و یا از پایین به بالا در سطوح مختلف خدمت دهی، با یکدیگر ارتباط متقابل داشته باشند. سیستم‌های مراقبت‌های بهداشتی تعداد سطوح مختلفی می‌توانند داشته باشند، اما ویژگی اصلی آنها تودرتویی بودن آنهاست، به این صورت که عموماً خدماتی را که کلینیک ارائه می‌دهد بیمارستان نیز به همراه تعدادی خدمات بیشتر ارائه می‌نماید. ویژگی دیگر این سیستم چند جریانی بودن آن است که بیمار در صورت تمایل می‌تواند به طور مستقیم از هر یک از سطوح خدمات مورد نیازش را دریافت نماید و لازم نیست همواره از طریق سطح پایین به سطح بالاتر ارجاع داده شود (۱). مدل مفهومی مساله به صورت شکل ۱ است.

بدیهی است که ایجاد تسهیلات سطح بالا (نظیر بیمارستان) نسبت به تسهیلات سطح پایین (نظیر کلینیک) هزینه بیشتری را می‌طلبد. همچنین از آنجا که نیاز اکثر مشتریان شامل خدمات اولیه است که از طریق تسهیلات سطح پایین برطرف می‌شود، صرف هزینه برای ایجاد آنها منطقی است. بدین منظور از مدل‌های مسائل سلسله مراتبی استفاده می‌شود تا مکان بهینه هر یک از این تسهیلات و تعداد بهینه تسهیلات هر سطح با هدف کمینه‌سازی هزینه و پوشش حداکثری با بهترین بعد مسافت و کمترین زمان دسترسی حاصل شود (۲).

هدف از بررسی صف در مراکز خدماتی در این مساله کمینه نمودن نرخ تقاضای از دست رفته هر یک از مراکز درمانی با دست‌یابی به یک سطح ایده‌آل برای متوسط زمان نوبت دهی (انتظار) و زمان بیکاری پرسنل است. در واقع تصمیمات اولیه مربوط به تعداد و مکان مراکز خدماتی دو سطح شامل کلینیک‌ها و بیمارستان‌ها تصمیمات استراتژیک، و تصمیمات ثانویه مرتبط با متوسط زمان بیکاری پرسنل و متوسط زمان نوبت دهی (طول صف) از تصمیمات عملیاتی می‌باشد. این امر قابلیت اطمینان مدل را افزایش می‌دهد و در نظر گرفتن برنامه ریزی احتمالی سیستم را با توجه به شرایطی که ممکن است رخ دهد، استوار می‌سازد. قابل توجه است که به علت مدیریت

یکسان این مراکز (دولتی) تصمیمات سطح اول و دوم همراستا و در راستای ارتقای سطح خدمت دهی به بیماران هستند. مدل‌های مکان‌یابی سلسله‌مراتبی عموماً در دو دسته اصلی طبقه‌بندی می‌شوند: (۱) جریان‌محور (هزینه از جنس واحد جریان در نظر گرفته می‌شود)، (۲) تخصیص‌محور (هزینه بر اساس تخصیص است). برای استقرار سیستم‌های درمانی عموماً از مدل‌سازی نوع دوم بهره‌برده می‌شود.

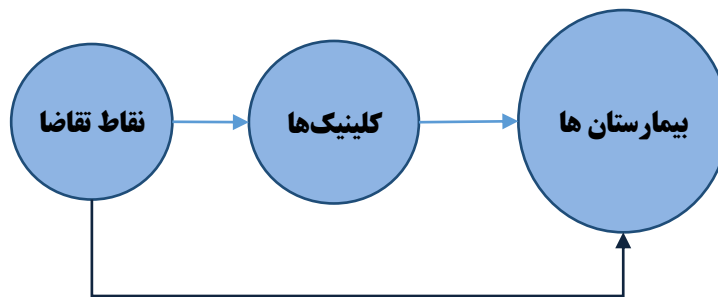
هنگامی که هزینه ایجاد تسهیلات هزینه‌زیادی دارد، از مسائل پوشش استفاده می‌شود. مسائل سلسله‌مراتبی پوشش نیز به دو دسته پوشش کامل و حداکثر پوشش تقسیم می‌شوند که هدف پوشش کامل این است که با حداقل هزینه و حداقل تعداد تسهیلات به پوشش کامل برای تمام نقاط تقاضا دست یابد، اما در صورت وجود محدودیت منابع پوشش جزئی مد نظر قرار می‌گیرد تا بدان وسیله کمترین تعداد از افراد خارج از مسافت خدمات مطلوب قرار گیرند.

در این مقاله به ارائه مدل برای مساله مکان‌یابی پوشش سلسله‌مراتبی مراکز درمانی با در نظر گرفتن نرخ امتناع بیماران از دریافت خدمات می‌پردازیم. در واقع مدل ارائه شده برای این مساله، یک مدل حداکثر پوشش نقاط تقاضا است که دو سطح خدمت دهی شامل بیمارستان و کلینیک را برای پوشش دهی بیماران در بردارد. در مدل سیام و کوه (۳) نرخ حفظ بیمار در طول خدمت دهی به سادگی بر اساس مفهوم ساده و متداول شعاع پوشش است که مطابق با آن افراد به تسهیلات با فاصله نزدیک‌تر جذب می‌شوند. یعنی در تصمیم‌گیری آنها تنها فاصله ملاک در نظر گرفته شده است، اما در حقیقت یکی از عوامل مهم ماندگاری یا امتناع بیماران از دریافت خدمات، نحوه خدمت دهی و زمان انتظار بیماران برای نوبت‌دهی ویزیت است. این امر به این علت است که بیماران با روبرو شدن با نوبت‌هایی که دیرتر از زمان مورد انتظارشان باشد، به سایر کلینیک‌ها با کیفیت خدمت‌رسانی مشابه مراجعه می‌نمایند و یا آنکه در موارد اورژانسی سلامتی‌شان در خطر قرار می‌گیرد. بنابراین در این مقاله سعی شده است که نرخ امتناع بیماران به صورت واقعی‌تری با توجه به نرخ خدمت دهی در مراکز درمانی در مدل لحاظ شود.

از طرف دیگر باید توجه‌نمائیم که نامعینی یک مساله مهم در طراحی سیستم‌های پایدار بویژه در سیستم‌های بیمارستانی است، که مولفه‌های اصلی این سیستم‌ها نظیر میزان مراجعه بیماران (در شرایط عادی و یا شیوع بیماری) طبیعت احتمالی دارد. بنابراین در این مساله نامعینی ذاتی در تصمیمات عملیاتی مرتبط با نرخ امتناع بیماران را بوسیله تعبیه محدودیت‌های احتمالی در مدل برنامه‌ریزی دو مرحله‌ای در نظر گرفته‌ایم. توانایی فراهم آوردن پوشش کافی برای

بیماران وجود دارد. به عنوان مثال اگر بیمار غیر اورژانسی با تماس با یک کلینیک برای یک ماه آینده بتواند نوبت دریافت نماید با فرض کیفیت مشابه مراکز درمانی (مطابق مفروضات در این مقاله همگی مراکز درمانی تحت بررسی، تحت مدیریت یکسان و دولتی می‌باشند)، ترجیح می‌دهد به کلینیک دیگری مراجعه نماید و یا در صورتی که تمام مراکز نوبت دهی دیر هنگام داشته باشند ممکن است سلامت بیمار به ویژه اگر وضعیت اورژانسی داشته باشد به خطر بیفتد. بنابراین علی‌رغم در نظر گرفتن مساله مکانیابی در بعد استراتژیک لازم و ضروری است که مساله از بعد عملیاتی نیز بررسی شود.

نقاط تقاضا در تمام شرایط به ایجاد یک تعادل بین خدمت دهندگان و تعداد مراجعات بیماران است که در مساله ما با بررسی سیستم صف در شرایط نامعینی امکان پذیر شده است. بررسی مدل صف در این مساله از این رو اهمیت دارد که در صورت بلندمدت بودن زمانهای نوبت‌دهی در یک مرکز درمانی، بیماران ممکن است به سایر مراکز درمانی که برای پوشش سایر نقاط تقاضا است مراجعه نمایند، که در این صورت مرکز درمانی بیماران بالقوه خود (بیماران در شعاع پوشش) را از دست می‌دهد و از آن مهم‌تر اینکه در صورتی که ظرفیت تمام مراکز در فاصله زمانی نزدیک تکمیل باشد و نوبت‌دهی در زمان نزدیک امکان‌پذیر نباشد، امکان ایجاد مشکلات برای سلامتی



شکل ۱- مدل مفهومی و کلی مساله سلسله مراتبی

بنابراین با در نظر گرفتن مساله از دو بعد استراتژیک و عملیاتی، بسیاری از مشکلات را نه پس از احداث مراکز درمانی و صرف هزینه‌های کلان، بلکه پیش از هر گونه اقدامی و به وسیله تصمیم‌گیری بهینه و هوشمندانه حل نماید، که این امر نکته قوت این پژوهش نسبت به پژوهش‌های قبلی است.

در ادامه به تعدادی از مطالعات در این حوزه پرداخته می‌شود و در نهایت جهت گیری پژوهش تبیین می‌شود. مور و ریول (۴) به ارائه اولین مدل برای تسهیلات درمانی مبتنی بر مکانیابی سلسله مراتبی پرداختند. همان گونه که در قسمت مقدمه مشاهده می‌شود، مدل آنها بر اساس پوشش حداکثری نقاط تقاضا بود و جزئیات مسائل واقعی را در بر نمی‌گرفت.

سهمین و سورال (۹) مروری بر مدل‌های مکانیابی سلسله مراتبی تسهیلات داشتند. تیکسریا و آنتونز (۱۰) یک مدل مکانیابی سلسله مراتبی برای برنامه ریزی تسهیلات عمومی ارائه دادند. مهمترین ویژگی مدل آنها در نظر گرفتن چند سطح تقاضا و چند سطح تسهیلات و تودرتویی بودن تسهیلات است.

موضوعات عمده ای که تاکنون در مقالاتی که به مدل‌های مکانیابی- تخصیص در سیستم‌های درمانی و سلامت پرداخته اند به این شرح است: مکانیابی بیمارستان در نواحی روستایی (۵)، برنامه ریزی و مکان‌گزینی سیستم‌های درمانی با در نظر گرفتن ملاحظات جغرافیایی (۷و۶)، مکانیابی مراکز بانک خون (۸).

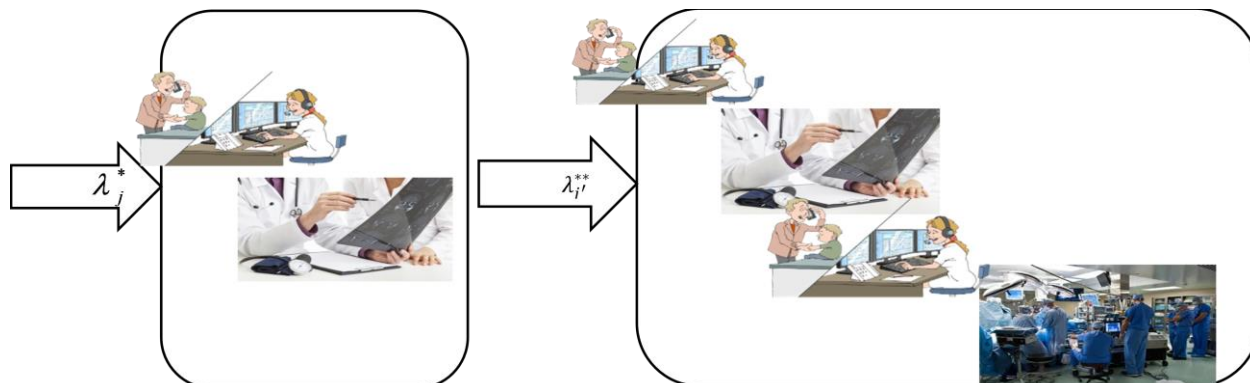
شریف و همکاران (۱۱) یک مدل مکانیابی پوشش حداکثری با محدودیت ظرفیت متداول بدون در نظر گرفتن حالت سلسله مراتبی سیستم برای سیستم‌های درمانی مالزی ارائه نمود و مساله را از طریق الگوریتم ژنتیک حل نمود.

سیام و کوته (۳) یک مدل برنامه ریزی عدد صحیح برای مساله مکانیابی- تخصیص سازمان غیرسودده بیمارستان ارائه

سهاین و همکاران (۱۲) یک مدل دو مرحله‌ای، چند جریانی مبتنی بر تخصیص و با ساختار تو در تویی برای ناحیه بندی مراکز خدمات خونی ایجاد نموده است. آنها یک مساله واقعی با ۲۳ مکان کاندید برای هر دو سطح خدمات خونی و ۸۱ نقطه تقاضا در نظر گرفتند.

فازی در نظر گرفتند و یک مدل حداکثر پوشش با سیستم صف فازی توسعه دادند. آنها یک الگوریتم ژنتیک برای حل و ارزیابی مدل مساله ارائه نمودند.

شوندی و محلوجی (۱۳) یک مدل مکانیابی-تخصیص فازی برای سیستم های پردازش ارائه نمودند. در واقع آنها پارامترهای سیستم صف و همچنین برخی از محدودیت ها را



شکل ۲- مدل مفهومی مساله تحلیل صف در سیستم سلسله مراتبی

خدمت دهنده مراجعه می نماید و در صورت تکمیل بودن تمام ظرفیت ها فروش از دست رفته پیش می آید.

برالدی و برونی (۱۸) یک مدل احتمالی برای سیستم های اورژانس متراکم ارائه دادند که در آن عدم اطمینان ذاتی تصمیم گیری را بوسیله یک الگوی برنامه ریزی احتمالی جدید که محدودیت های احتمالی را در یک مدل دومرحله ای (two-stage) تعبیه شده بود، ارائه نمودند.

واس و سزابو<sup>۱</sup> (۱۹) به منظور بهبود جریان بیمار در اورژانس بیمارستان از مدل های تئوری صف استفاده نمودند. در این پژوهش، نویسندگان اثر میانگین نرخ تقاضا، میانگین زمان خدمت و واریانس هر یک را بر زمان انتظار بیماران در بخش های گوناگون اورژانس، محاسبه نموده اند و تلاش کرده اند تا فواید استفاده از تئوری صف را به صورتی ملموس به رده های مدیریتی بیمارستان و پزشکان نشان دهند.

در مقاله حاضر مساله مورد بررسی در دو بعد تصمیمات استراتژیک و عملیاتی بررسی شده است؛ تصمیمات عملیاتی در نظر گرفتن تعداد پرسنل با توجه به نرخ گریز بیمار در اثر نوبت دهی دیر هنگام است که با تحلیل سیستم صف در مساله اصلی، که مکانیابی و پوشش نقاط تقاضا در دو سطح خدمات (تصمیم گیری استراتژیک) است، گنجانده شده است. نوآوری این مقاله در درجه اول در حوزه مدلسازی است، به این صورت که تحلیل سیستم صف در مدل مکانیابی پوشش سلسله مراتبی به صورت یک مدل برنامه ریزی دوسطحی گنجانده شده است، در حوزه عملی نیز یک مدل تصمیم گیری کارآمد برای مکانیابی مراکز درمانی ارائه شده است.

کوچران و روشه (۱۴) یک مدل شبکه صف برای یک مرکز اورژانس با هدف افزایش ظرفیت مرکز اورژانس برای درمان بیماران طراحی نمودند.

اولین مدل جایابی حداکثر پوشش مورد انتظار توسط داسکین ارایه شد که هدف آن ماکزیمم نمودن پوشش مورد انتظار با در نظر گرفتن احتمال مشغول بودن مراکز خدمت دهی به علت تقاضای بالا بود. ماریانف و همکاران (۱۵) با بهره گیری از تئوری صف به ارائه یک مدل مکانیابی پرداختند که در آن اولویت مشتری برای انتخاب خدمت دهنده ها فاصله و زمان انتظار بود.

محمدی و همکاران (۱۶) به منظور طراحی شبکه ارائه خدمات درمانی قابل اطمینان در استان تهران با در نظر گرفتن ظرفیت محدود، یک مدل بهینه سازی چندهدفه فازی-احتمالی ارائه نمودند. آنها از یک رویکرد مبتنی بر تئوری بازی ها و همچنین دو الگوریتم فراابتکاری رقابت استعماری و شبیه سازی تبرید برای حل مل بهینه سازی چندهدفه استفاده شده است. این مدل ضمن برآورده نمودن هدف پوشش نقاط تقاضا، میزان بهینه ی تخت های مورد نیاز را با توجه به تغییرات در تقاضا و زمان خدمت را مشخص می کند. در پایان نتیجه گیری کرده اند که با توجه به پیچیده بودن فرآیندهای خدمت رسانی استفاده از شبیه سازی کامپیوتری می تواند در تأیید اولیه ی مدل صف استفاده شده بسیار موثر باشد.

برمن و همکاران (۱۷) به ارائه مدلی با هدف حداقل کردن تعداد فروش های از دست رفته پرداختند که در آن مشتری در صورت مراجعه به یک خدمت دهنده مشغول به نزدیک ترین

<sup>1</sup> Vassa and Szabob

## مواد و روش‌ها

باید توجه نمود که در سیستم تک ایستگاهی کلینیک، بیماران با نرخ ثابت  $\lambda_j^*$  وارد کلینیک می‌شوند. همچنین نرخ ارائه خدمت هر خدمت دهنده نیز ثابت و برابر  $\mu_j^*$  است. در صورتی که تعداد بیماران در نوبت کلینیک ( $n$ ) بزرگتر یا مساوی  $C$  باشد آنگاه نرخ خروج از سیستم برابر  $C\mu_j^*$  است، اما اگر  $n$  کوچکتر از  $C$  باشد آنگاه نرخ ارائه خدمت برابر  $n\mu_j^*$  خواهد بود، که به صورت رابطه ۱ تعریف می‌شوند:

$$\lambda_{nj}^* = \lambda_j^* (n \geq 0) \quad (1)$$

$$\mu_{nj}^* = \begin{cases} n\mu_j^* & n \leq c \\ c\mu_j^* & n \geq c \end{cases}$$

بنابراین سیستم خدمت‌دهی در هر کلینیک از نظم صف  $(M/M/C):(GD/\infty/\infty)$  پیروی می‌نماید. محاسبه شاخص‌های ارزیابی این سیستم در کتاب حمدی طاهها (۲۰) آورده شده است.

برای تشکیل مدل سیستم خدمت‌دهی در بیمارستان به عنوان یک سیستم دو ایستگاه باید وضعیت سیستم در هر لحظه از زمان مشخص شود. هر ایستگاه می‌تواند یکی از دو حالت آزاد یا مشغول را داشته باشد، همچنین اگر مشتری در ایستگاه اول خدمتش را کامل دریافت کرده باشد اما هنوز ایستگاه دوم آزاد نشده باشد، ایستگاه اول را بلوک می‌نامیم. با فرض اینکه علایم ۰ و ۱ و  $b$  معرف وضعیت‌های آزاد، مشغول و بلوک باشند؛ همچنین  $a$  و  $b$  را معرف وضعیت ایستگاه‌های ۱ و ۲ در نظر بگیریم، وضعیت سیستم ممکن است یکی از حالات زیر باشد:

$$\{(a,b)\} = \{(0,0), (1,0), (0,1), (1,1), (b,1)\}$$

احتمال قرار گرفتن سیستم در وضعیت  $(a,b)$  در هر لحظه از زمان  $t$  است که در کتاب حمدی طاهها (۱۸) محاسبه شده است.

در سطح عملیاتی طراحی سیستم‌های درمانی به منظور یافتن مقدار بهینه متوسط زمان انتظار بیماران به منظور کاهش نرخ امتناع بیماران بر اثر زمان طولانی نوبت‌دهی و زمان بیکاری خدمت‌دهندگان در هر یک از مراکز درمانی، و همچنین به علت مشکلات تخمین پارامترهای هزینه در مدل هزینه‌ای (هزینه ارائه خدمت و یا هزینه تأخیر در خدمت‌دهی) از مدل سطح ایده‌آل استفاده می‌نماییم. در این مدل معیار بهینگی، برآورده شدن سطح ایده‌آلی است که توسط تصمیم‌گیرنده انتخاب می‌شود. سطوح ایده‌آل به عنوان حد

روش تحقیق در این پژوهش تحلیلی و کمی است، در واقع در این مطالعه از مدلسازی ریاضی و تئوری صف به منظور تحلیل سیستم صف و مکانیابی بهینه استفاده شده است. برای جمع‌آوری داده‌های مورد نیاز از روش پی‌درپی (Sequential) استفاده شده است و در مراجعات متوالی داده‌های مورد نیاز از مرکز قلب تهران در بازه زمانی دو ماهه فروردین و اردیبهشت سال ۱۳۹۳ جمع‌آوری شده است. با توجه به جامعیت روش مورد استفاده و مشابه بودن فرآیند پذیرش و ورود بیماران به ایستگاه‌های مختلف و در نظر گرفتن سناریوهای مختلف با توجه به شدت بیماری این تحقیق کاملاً قابل تعمیم به سایر بیمارستان‌ها هست. در رابطه با ملاحظات اخلاقی، با توجه به اینکه در این تحقیق به تحلیل فرآیند پذیرش و ورود بیماران قلبی به ایستگاه‌های مختلف پرداخته شده، سعی بر آن بوده که تداخلی در این فرآیند ایجاد نشود.

## مدل مکان‌یابی سلسله‌مراتبی با در نظر گرفتن نرخ نگهداری مشتری

## بررسی سیستم صف در مراکز درمانی

سیستم تحت بررسی یک شبکه شامل مجموعه‌ای از گره‌ها و کمان‌ها است که گره‌ها معرف نقاط تقاضا و کمان‌ها مسیر بین آنها است. در هر نقطه تقاضا جمعیتی از بیماران بالقوه قرار دارند که فرض کرده ایم که نرخ تقاضای آنها به خدمات درمانی ارائه شده در کل شبکه احتمالی و از توزیع پواسون پیروی می‌کند.

ساختار خدمت‌دهی کلینیک‌ها تک ایستگاهی و ساختار خدمت‌دهی بیمارستان‌ها شامل دو ایستگاه متوالی در نظر گرفته شده است؛ بدین ترتیب هر یک از مراکز درمانی شامل سیستم‌هایی با چند خدمت‌دهنده موازی است که در آن تعداد خدمت‌دهنده‌ها برابر  $C$  در نظر گرفته می‌شود، بنابراین در هر لحظه به  $C$  بیمار خدمت ارائه می‌نماید. همچنین هر یک از مراکز درمانی شامل بیمارستان‌ها سیستم سری دو ایستگاهی با تعداد  $C$  خدمت‌دهنده در هر ایستگاه در نظر گرفته شده‌اند. در این سیستم ابتدا بیمار به بخش تشخیص (ویزیت اولیه) و در صورت نیاز برای اقدامات درمانی در صف قرار گیرد (منتظر نوبت می‌ماند). در بیمارستان چنانچه بیمار از کلینیک ارجاع یافته باشد نیز لازم است روند تشخیص-اقدامات درمانی را طی نماید، به عبارت دیگر امکان دریافت خدمت از ایستگاه دوم بدون مراجعه به ایستگاه اول (تشخیص) امکان‌پذیر نیست.

یک بیمارستان مجهز مراجعه نماید. هزینه ها در این نوع کلینیک ها (بر اساس بیمه تحت پوشش) امکان افزایش دارد. از طرف دیگر، در کلینیک های تابع بیمارستان، پزشکان متخصص که در بیمارستان فعالیت درمانی دارند در زمان های خاصی در کلینیک و با هزینه کمتری بیماران راویزیت می نمایند و در صورت نیاز خدمات پاراکلینیکی ارائه می شود.

در ادامه به بررسی این مطلب برای بیماری های قلبی می پردازیم. در صورتی که یک بیمار قلبی به یک کلینیک مستقل مراجعه نماید، معاینه و درمان سطحی با دارو و یا در صورتی که دستگاه اکو موجود باشد یک بررسی بر روی عملکرد عضله قلب انجام می شود. اما در صورتی که بیمار به یک کلینیک تابع بیمارستان مراجعه نماید، پس از معاینه پزشک بر اساس اورژانسی بودن و شرایط حاد بیمار، بستری شدن بیمار سریع تر انجام می شود، همچنین اگر بیماری با زمینه انفارکتوس میوکارد (سکته قلبی) با درد شدید قلبی به کلینیک مراجعه نماید پزشک با یک نوار قلبی تشخیص می دهد اما از آنجا که در کلینیک رویه درمان وجود ندارد، با مراجعه به کلینیک تابع بیمارستان می تواند سریع تر به اورژانس قلب منتقل شود و سریعاً رویه درمان انجام گیرد. این امر برای بسیاری از موارد دیگر نظیر کلینیک اورولوژی و ... صدق می نماید، که به آنها نمی پردازیم. با توجه به در نظر گرفتن سه نوع بیمار با وضعیت عادی، وضعیت ناپایدار با ریسک پایین و وضعیت ناپایدار با ریسک بالا، مسیر بیمار بین بخش های مرتبط را در شکل ۳ نشان داده ایم که با توجه به اینکه بیمار با ریسک بالا را در این تحقیق مد نظر قرار داده ایم مسیر مربوط به آن را هایلایت نموده ایم.

در بحث نامعینی میزان نرخ ورود بیمار به کلینیک ها و بیمارستان ها، اشاره می نماییم که مراجعه بیماران قلبی عموماً با نرخ یکنواخت و ثابت نیست بلکه به عنوان مثال در فصل سرما میزان سکته های قلبی و مرگ ناگهانی قلبی شایع تر است. ابتدا به عفونت های واگیردار مثل سرماخوردگی، آنفلوآنزا و... که در فصل زمستان شایع ترند می توانند سبب تشدید بیماری قلبی و یا ظهور یک بیماری قلبی نهفته یا خاموش بصورت حمله قلبی شود. همچنین گاهی انجام یک فعالیت سنگین در هوای سرد و یا ورزش شدید مثل برف رومی با پارو یا کوهنوردی در یک هوای سرد سبب سکته قلبی در افراد مستعد می شود. بنابراین با توجه به شرایط واقعی و با مشورت با پرسنل بیمارستان های و کلینیک های تحت بررسی، برای میزان نرخ ورود بیمار به هر یک از سیستم ها چند سناریو تعریف می نماییم.

بالای این دو معیار تعریف می شوند و تصمیم گیرنده قصد دارد آنها را متوازن سازد.

به منظور تصمیم گیری در ارتباط با تعداد بهینه خدمت دهندگان در هر یک از مراکز درمانی (در سطح عملیاتی) دو شاخص مرسوم از جمله متوسط زمان انتظار بیماران تا زمان نوبت داده شده ( $W_s$ ) و درصد زمانهای بیکاری خدمت دهندگان ( $T$ ) را در نظر می گیریم. سطوح ایده آل برای این دو شاخص را به ترتیب با  $\gamma$  و  $\beta$  نشان می دهیم؛ تعداد خدمت دهندگان  $C$  به طوری تعیین می شود که در شرط (۲) صدق نماید:

$$\begin{aligned} W_s &\leq \gamma \\ T &\leq \beta \end{aligned} \quad (2)$$

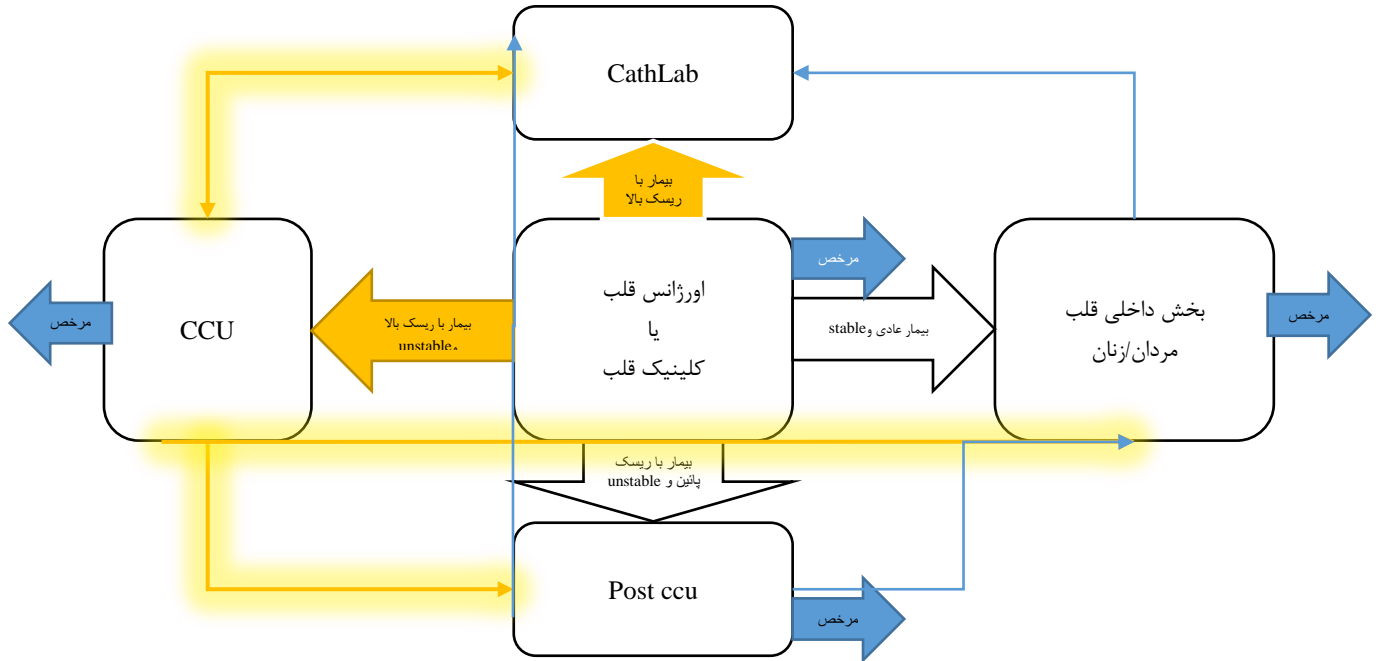
عبارت  $W_s$  برای هر یک از مراکز درمانی از جمله کلینیک (به عنوان سیستم تک ایستگاهی با چند خدمت دهنده) و بیمارستان ها (به عنوان سیستم دو ایستگاهی با چند خدمت دهنده) باید محاسبه گردد. همچنین مقدار  $T$  به ازای مقادیر مختلف  $C$  بر اساس رابطه (۳) محاسبه می گردد (۱۸):

$$T = \frac{100}{C} \sum_{n=0}^C (C-n) P_n = 100(1 - \frac{\rho}{C}) \quad (3)$$

### مطالعه موردی

با توجه به مساله مورد نظر در این مقاله تصمیم گیری در مرحله اول یک تصمیم گیری استراتژیک و کلی است و برای هر سیستم خدمت دهی با دو سطح قابل تعمیم است؛ بنابراین اطلاعاتی که در مطالعه موردی اهمیت بیشتری دارد انطباق شرایط واقعی با مفروضات مورد نظر برای تصمیم گیری در مرحله دوم یعنی تصمیم گیری در سطح عملیاتی است. بدین منظور برای ساده سازی شرایط مساله و غیر سودمند بودن بررسی بخش های نامرتب به طور همزمان، تنها بخش قلب را با توجه به اهمیت فوق العاده آن در سلامت جامعه در نظر گرفتیم. کلیه اطلاعات از پرسنل مرکز قلب تهران بدست آمده است، و قابلیت آن را دارد که برای احداث یک بیمارستان با بخش قلب مشابه الگو قرار داده شود. همچنین قابل ذکر است که با تحلیل سیستم صف در بخش های دیگر این پژوهش قابل تعمیم به بخش های دیگر بیمارستان است.

بر اساس مطالعات انجام گرفته کلینیک ها در دو دسته مستقل از بیمارستان و یا تابع بیمارستان قرار می گیرند. در کلینیک های مستقل از بیمارستان، بیماران توسط پزشکان کلینیک ویزیت می شوند و بر اساس امکانات کلینیک خدمات پاراکلینیک انجام می شود، و در صورت نیاز و عدم وجود امکانات لازم در کلینیک بیمار در جهت پیگیری درمان باید به



شکل ۳- مسیر بیمار قلبی در بخش‌های مرتبط بر اساس شدت بیماری (مطابق با اطلاعات جمع‌آوری شده از بیمارستان شهید مدرس تهران)

$$\min \sum_i \theta_i \bar{Y}_i \tag{4}$$

s.t.

$$\sum_{i \in N_i^*} x_i^* + \sum_{i \in M_i^{**}} x_i^{**} + \bar{Y}_i \geq 1 \forall i \in I \tag{5}$$

$$\sum_{i \in N_i^*} x_i^* + \bar{Y}_i \geq 1 \forall i \in I \tag{6}$$

$$\sum_{i \in I} x_i^{**} = p^{**}, \sum_{i \in I} x_i^* = p^* \tag{7}$$

$$x_i^*, x_i^{**}, \bar{Y}_i \in (0,1) \tag{8}$$

به منظور تعریف هر یک از سناریوها برای بیماران با ریسک بالا، با مشورت پرسنل بخش قلب سه سناریو برای نرخ مراجعه بیماران در نظر گرفته شده است. سناریو اول نرخ مراجعه پایین که با احتمال ۰/۶ رخ می‌دهد؛ دومین سناریو نرخ مراجعه بالا در فصل سرد است که با احتمال ۰/۳ رخ می‌دهد، و در نهایت نرخ مراجعه بالا در فصول دیگر که با احتمال ۰/۱ رخ می‌دهد. در بحث تک ایستگاه در نظر گرفتن کلینیک، و دو ایستگاه در نظر گرفتن بیمارستان، باید اشاره نمود که این فرض با واقعیت منطبق است زیرا همان‌طور که اشاره شد در کلینیک برای ویزیت اولیه نوبت گرفته می‌شود و خدمات پاراکلینیکی در صورت نیاز در همان نوبت مشخص می‌شود. همچنین در بیمارستان ابتدا لازم است از پزشک متخصص نوبت ویزیت دریافت شود و خدمات اولیه در همان نوبت قابل دریافت است و در صورت نیاز به پیگیری باید بیمار تحت درمان جدی‌تر قرار گیرد که تنها در بیمارستان‌های مجهز این امکانات موجود است.

پارامترها و متغیرهای این مدل به شرح زیر هستند:  
پارامترها

جمعیت گره i	$\theta_i$
مجموعه گره‌های تقاضا	I
محل‌های بالقوه در فاصله $S^*$ از نقاط تقاضا i (برای بیمارستان با خدمات سطح پایین)	$M_i^{**}$
محل‌های بالقوه در فاصله $R^{**}$ از نقاط تقاضا (برای بیمارستان با خدمات سطح بالا)	$N_j^{**}$
محل‌های بالقوه در فاصله $R^*$ از نقاط تقاضا (برای کلینیک با خدمات سطح پایین)	$N_j^*$

**مدل قطعی به عنوان پایه مساله در سطح تصمیمات استراتژیک**

مدل این مساله بر اساس مدل پایه‌ای ارائه شده به وسیله مور و ریول (۴) توسعه یافته است. مدل ارائه شده توسط مور و ریول حالت پیشرفته‌تر مدل‌های حداکثر پوشش است که در خدمات پزشکی استفاده می‌شود و به صورت مدل زیر است:

## متغیرها

اگر تسهیل بیمارستانی برای پوشش گره $i$ قرار گیرد.	$x_i^{**}$
اگر تسهیل کلینیکی برای پوشش گره $i$ قرار گیرد.	$x_i^*$
متغیر صفر و یک برای پوشش یا عدم پوشش نقطه تقاضای $i$	$\bar{Y}_i$

- مختصات گره های شبکه و کوتاهترین مسیر بین هر جفت گره، و نقاط کاندید برای احداث مشخص است.
- مراکز درمانی احداث شده در هر یک از سایت های کاندید ملزم به ارائه خدمات به تقاضا در همان منطقه و نواحی تحت پوشش هستند.
- خدمات ارائه شده در کلینیک ها از لحاظ نوع خدمت و تکنولوژی موجود مشابه یکدیگر و خدمات ارائه شده در بیمارستان ها نیز مشابه یکدیگر است، بنابراین بیمارستان با سطح خدمات بالا و پایین که در مدل مور و ریول وجود دارد مد نظر نیست ( $M_i^{**}$  و  $N_j^{**}$  در مدل ما یک مفهوم دارد).
- در مساله پوشش از آنجا که هنوز کلینیک ها و بیمارستان ها در دو سطح احداث نشده اند، میزان تقاضا به عنوان پارامتر احتمالی در نظر گرفته شده و بر اساس فاصله تا مرکز درمانی برآورد شده است.
- خدمت دهی هر یک از تسهیلات در سطح اول و دوم با توجه به سیستم صف آنها مورد تحلیل قرار می گیرد.
- در ادامه ابتدا پارامترها افزوده شده بهمدل قطعی مساله و همچنین تغییری که در دو متغیر مساله ایجاد می شود، آورده شده است و سپس تابع هدف تغییر یافته بیان می شود:

## پارامترها:

هزینه ثابت احداث کلینیک برای پوشش گره $i$	$c_i$
هزینه ثابت احداث بیمارستان برای پوشش گره $i$	$c_i^{**}$

## متغیرها

اگر تسهیل بیمارستانی زام برای پوشش گره $i$ قرار گیرد.	$x_{ij}^{**}$
اگر تسهیل کلینیکی زام برای پوشش گره $i$ قرار گیرد.	$x_{ij}^*$

تابع هدف مساله با توجه به در نظر گرفتن کمینه سازی هزینه احداث علاوه بر کمینه سازی نقاط پوشش نیافته به صورت معادله (۹) تغییر می یابد. باید توجه نمود که به علت آنکه هزینه های احداث ارقام بزرگی هستند و جنس متفاوتی دارند، نمی تواند همزمان با کمینه سازی تعداد نقاط پوشش نیافته، کمینه شوند. بنابراین مساله دو هدفه خواهد بود.

$$\min Z_1 = \sum_i \theta_i \bar{Y}_i$$

$$\min Z_2 = \sum_i c_i^* x_{ij}^* + c_i^{**} x_{ij}^{**}$$

۹

s.t.

در مدل مور و ریول دو سطح از خدمات درمانی در نظر گرفته شده است که آن را با  $**$  به عنوان بیمارستان و  $*$  به عنوان کلینیک مشخص نموده اند. با فرض اینکه برای پوشش نقاط تقاضا هر دو نوع خدمات سطح بالا و پایین قابل خدمت دهی باشند، به منظور پوشش هر نقطه تقاضا لازم است که در فاصله  $R^{**}$  از نقطه تقاضا بیمارستان (سطح بالا) قرار گیرد، و یا در فاصله  $R^*$  از نقطه تقاضا یک کلینیک با خدمات سطح پایین قرار گیرد. همچنین باید فاصله  $R^*$  کمتر از  $R^{**}$  باشد، زیرا افراد برای مشکلات جزئی به مراکز درمانی نزدیک تر مراجعه می کنند و برای مشکلات جدی تر (که عموماً پس از تشخیص اولیه پدیدار می شود) حاضرند مسافت بیشتری طی نمایند. بدین صورت جمعیتی که تحت پوشش این خدمات قرار نمی گیرد به حداقل می رسد. تابع هدف این مدل (۴) درصد کمینه سازی نقاطی است که پوشش داده نشده است. محدودیت اول مدل فوق (۵) تضمین می کند که نقطه تقاضا پوشش داده نمی شود مگر اینکه حداقل یک بیمارستان در فاصله  $R^{**}$  ( $\sum_{i \in M_i^{**}} x_i^{**} \geq 1$ ) یا حداقل یک کلینیک در فاصله  $R^*$  ( $\sum_{i \in M_i^*} x_i^* \geq 1$ ) قرار بگیرد، در غیر این صورت به علت آنکه تابع هدف مینیمم سازی است  $\bar{Y}_i$  صفر خواهد بود. محدودیت دوم (۶) تضمین می کند که نقطه تقاضا پوشش داده نمی شود مگر اینکه حداقل یک بیمارستان در فاصله  $R^{**}$  ( $\sum_{i \in M_i^{**}} x_i^{**} \geq 1$ ) باشد، محدودیت اول و دوم با یکدیگر تضمین می کنند که یک گره تقاضا پوشش داده می شود تنها اگر تحت پوشش خدمات یک بیمارستان (مراجعه مستقیم به بیمارستان) و یا یک بیمارستان و یک کلینیک باشد (مراجعه به کلینیک و ارجاع به بیمارستان). محدودیت سوم (۷) تعداد امکانات ایجاد بیمارستان و کلینیک را مشخص می کند. در ادامه به منظور توسعه مدل مفروضاتی را برای مساله مطرح می نماییم؛ برخی مفروضاتی که در مدل ریاضی پیشنهادی لحاظ شده است به صورت زیر می باشد:

- امکانات برای احداث بیمارستان و کلینیک محدود است، همچنین هزینه ثابت احداث بیمارستان بیشتر از کلینیک است.



دهیم. با توجه به مساله واقعی این نامعینی را بر روی نرخ ورود بیمار به سیستم، حد ایده آل متوسط زمان انتظار بیماران تا زمان نوبت داده شده و حد ایده‌آل درصد زمانهای بیکاری خدمت دهندگان لحاظ نموده ایم. اندیس  $s$  در مدل احتمالی دومرحله‌ای بیانگر سناریوهای مختلف است که احتمال رخداد هر یک از آنها برابر  $p_s$  است.

تعریف سناریوها و احتمال وقوع هر یک از سناریوها با مشورت با پرسنل بیمارستان‌های تحت بررسی انجام شده است.

متغیرها و پارامترهای اضافه شده به این مدل به شرح زیر می‌باشند:

متغیرها	
نرخ مراجعه بیمار به تسهیل ز در سطح اول (کلینیک)	$\lambda_j^*$
نرخ مراجعه بیمار به تسهیل ز در سطح دوم (بیمارستان)	$\lambda_j^{**}$
نرخ مراجعه بیمار به تسهیل ز در سطح اول (کلینیک) زمانی که n بیمار در نوبت هستند.	$\bar{\lambda}_j^*$
نرخ مراجعه بیمار به تسهیل ز در سطح دوم (بیمارستان) زمانی که n بیمار در نوبت هستند.	$\bar{\lambda}_j^{**}$
نسبت نرخ ورودی به خروجی در تسهیل ز در سطح اول (کلینیک)	$\rho_j^*$
نسبت نرخ ورودی به خروجی در تسهیل ز در سطح دوم (بیمارستان)	$\rho_j^{**}$
پارامترها	
تعداد خدمت دهندگان در تسهیل ز در سطح اول (کلینیک)	$g_j^*$
تعداد خدمت دهندگان در تسهیل ز در سطح دوم (بیمارستان)	$g_j^{**}$
احتمال وجود $g_j^*$ خدمت دهندگان در تسهیل ز در سطح اول (کلینیک)	$p_{g_j^*}$
نرخ تقاضای بیماران در نقطه تقاضای i برای مراجعه به کلینیک	$d_i^*$
نرخ تقاضای بیماران در نقطه تقاضای i برای مراجعه به بیمارستان	$d_i^{**}$

$$\sum_{i \in N_i^*} x_i^* + \sum_{i \in M_i^{**}} x_i^{**} + \bar{Y}_i \geq 1 \forall i \quad 10$$

$$\sum_{i \in N_i^*} x_i^* + \bar{Y}_i \geq 1 \forall i, j \quad 11$$

$$x_i^* \leq \sum_j x_{ij}^* \quad 12$$

$$x_i^{**} \leq \sum_j x_{ij}^{**} \quad 13$$

$$\sum_{i,j} x_{ij}^{**} = p^{**}, \sum_{i,j} x_{ij}^* = p^* \quad 14$$

$$x_{ij}^*, x_{ij}^{**}, x_i^*, x_i^{**} \in (0,1) \forall i, j \quad 15$$

$$\bar{Y}_i \in (0,1) \forall i \quad 16$$

در مدل پایه فوق تنها تصمیمات در سطح استراتژیک در نظر گرفته شده است، اما از آنجا که قصد داریم تصمیمات عملیاتی مرتبط با نرخ خدمت دهی به بیماران با توجه به سیستم‌های صف را در این مساله در نظر بگیریم، در قسمت بعد مدل احتمالی پیشنهادی برای مدل سازی این مساله را ارائه می‌نماییم.

### مدل دومرحله‌ای احتمالی پیشنهادی

این مدل با توجه به در نظر گرفتن تحلیل صف در هر یک از مراکز درمانی مطابق با مدل سطوح ایده‌آلر اساس دو شاخص متوسط زمان انتظار بیماران تا زمان نوبت داده شده و درصد زمانهای بیکاری خدمت دهندگان در نظر گرفته شده است؛ این سطح از مساله به عنوان تصمیم‌گیری عملیاتی است که به صورت احتمالی در مرحله دوم مدل دو مرحله‌ای قرار دارد. منبع اصلی نامعینی در مساله ما از تقاضای بیماران در شرایط مختلف (نرخ ورود بیماران) ناشی می‌شود. باید توجه داشت که نرخ ورود بیماران در مساله ما، ورود فیزیکی بیماران به سیستم نیست بلکه ورود آنها به لیست مراجعان است و امتناع بیماران نه به واسطه دیدن طول صف بلکه به واسطه مدت زمان تا نوبت ارائه شده است، بنابراین فرض در نظر گرفتن طول صف بی‌نهایت منطقی است.

ما نامعینی موثر در خدمت دهی در مراکز درمانی را به وسیله بردار تصادفی  $d(\omega)$  در روی فضای احتمال  $\Omega$  نمایش می‌

$\bar{\lambda}_j^* = \lambda_j^* \sum_{n \in N} b_n p_n$	۲۶	نرخ خروجی در تسهیل زد در سطح اول (کلینیک)	$\mu_j^*$
$\bar{\lambda}_{j'}^{**} = \lambda_{j'}^{**} \sum_{n \in N} b_n p_n$	۲۷	نرخ خروجی در تسهیل زد در سطح دوم (بیمارستان)	$\mu_{j'}^{**}$
$\lambda_j^* = \sum_{i \in N_i^*} d_i^* x_{ij}^*$	۲۸	احتمال رخداد هر یک از سناریوها	$P_s$
$\lambda_{j'}^{**} = \sum_{i \in N_i^{**}} d_i^{**} x_{ij}^{**}$	۲۹	حد ایده آل برای زمان انتظار در کلینیک	$\gamma^*$
		حد ایده آل برای زمان انتظار در بیمارستان	$\gamma^{**}$
		حد ایده آل برای درصد زمانهای بیکاری	$\beta$
$\frac{\left[ \frac{g_j^* \rho_j^*}{(g_j^* - \rho_j^*)^2} \right] p_{g_j^*}}{\lambda_j^*} + \frac{1}{\mu_j^*} \leq \gamma^*$	۳۰	خدمت دهندگان	
		مدل دو مرحله ای احتمالی پیشنهادی به صورت زیر می باشد:	
$\frac{5\rho_{j'}^{**2} + 4\rho_{j'}^{**}}{\{3\rho_{j'}^{**2} + 4\rho_{j'}^{**} + 2\} \times \{\lambda_{j'}^{**} \times (p_{00} + p_{01})\}} \leq \gamma^{**}$	۳۱	$\min_{\bar{Y}_i} Z_1 = \sum_i \theta_i \bar{Y}_i + c_j^* x_{ij}^* + c_j^{**} x_{ij}^{**} + E_\omega[Q]$	۱۷
		$\min_{x_{ij}^*, x_{ij}^{**}} Z_2 = \sum_i c_i^* x_{ij}^* + c_i^{**} x_{ij}^{**}$	
$100(1 - \frac{\rho_j^*}{g_j^*}) \leq \beta$	۳۲	$\min Z_3 = E_\omega[Q]$	
		s.t.	
$100(1 - \frac{\rho_{j'}^{**}}{g_{j'}^{**}}) \leq \beta$	۳۳	$\sum_{i \in N_i^*} x_i^* + \sum_{i \in M_i^{**}} x_i^{**} + \bar{Y}_i \geq 1 \forall i$	۱۸
$\rho_j^* = \frac{\lambda_j^*}{\mu_j^*}$	۳۴	$\sum_{i \in N_i^*} x_i^* + \bar{Y}_i \geq 1 \forall i$	۱۹
$\rho_{j'}^{**} = \frac{\lambda_{j'}^{**}}{\mu_{j'}^{**}}$	۳۵	$x_i^* \leq \sum_j x_{ij}^*$	۲۰
$\lambda_j^*, \lambda_{j'}^{**}, \bar{\lambda}_j^*, \bar{\lambda}_{j'}^{**}, \rho_j^*, \rho_{j'}^{**} \geq 0 \forall j, j'$	۳۶	$x_i^{**} \leq \sum_j x_{ij}^{**}$	۲۱
		$\sum_j x_{ij}^{**} = p^{**}, \sum_j x_{ij}^* = p^*$	۲۲
		$x_{ij}^*, x_{ij}^{**}, x_i^*, x_i^{**} \in (0,1) \forall i, j$	۲۳
		$\bar{Y}_i \in (0,1) \forall i$	۲۴
		where	۲۵
		$Q = \min_{\lambda_j^*, \lambda_{j'}^{**}} \sum_j (\lambda_j^* - \bar{\lambda}_{jk}^*) + \sum_{j'} (\lambda_{j'}^{**} - \bar{\lambda}_{jk}^{**})$	

معادله ۱۷ بیانگر تابع هدف سطح اولمدل دو مرحله ای است و درصد کمینه سازی نقاط پوشش نیافتهو هزینه احداث مراکز درمانی در دو است. همچنین در تابع هدف، کمینه سازی متوسط نرخ تقاضاهای از دست رفته در هر یک از مراکز درمانی در دو سطح نیز به عنوان مرحله دوم بهینه سازی تصمیمات و به صورت احتمالی در نظر گرفته شده است. معادله ۱۸ و ۱۹ مشابه محدودیت های مدل مور و ریول هستند، با این تفاوت که در مدل ما کلینیک ها با یکدیگر متمایز و همین طور بیمارستان هانیز با یکدیگر متمایزند.

$$\min Z_1 = \sum_i \theta_i \bar{Y}_i \quad 37$$

$$\min Z_2 = \sum_i c_i^* x_{ij}^* + c_i^{**} x_{ij}^{**}$$

$$\min Z_3 = \sum_i \left\{ \sum_{s=1}^S \sum_{j \in M_i^*} p_s (\lambda_{js}^* - \bar{\lambda}_{js}^*) + \sum_{s=1}^S \sum_{j \in M_i^{**}} p_s (\lambda_{js}^{**} - \bar{\lambda}_{js}^{**}) \right\}$$

s.t.

$$\sum_{i \in N_i^*} x_i^* + \sum_{i \in M_i^{**}} x_i^{**} + \bar{Y}_i \geq 1 \forall i \quad 38$$

$$\sum_{i \in N_i^*} x_i^* + \bar{Y}_i \geq 1 \forall i \quad 39$$

$$x_i^* \leq \sum_j x_{ij}^* \quad \forall i \quad 40$$

$$x_i^{**} \leq \sum_j x_{ij}^{**} \quad \forall i \quad 41$$

$$\sum_{i,j} x_{ij}^{**} = p^{**}, \sum_{i,j} x_{ij}^* = p^* \quad 42$$

$$\bar{\lambda}_{js}^* = \lambda_{js}^* \sum_{n \in N} b_n p_n \quad 43$$

$$\bar{\lambda}_{js}^{**} = \lambda_{js}^{**} \sum_{n \in N} b_n p_n \quad 44$$

$$\lambda_{js}^* = \sum_{i \in N_i^*} d_i^* x_{ij}^* \quad 45$$

$$\lambda_{js}^{**} = \sum_{i \in N_i^{**}} d_i^{**} x_{ij}^{**} \quad 46$$

$$p \left\{ \frac{\left[ \frac{g_j \rho_j^*}{(g_j^* - \rho_j^*)^2} \right] p_{g_j^*}}{\lambda_j^*} + \frac{1}{\mu_j^*} \leq \gamma^* \right. \\ \left. \frac{5\rho_{j'}^{**2} + 4\rho_{j'}^{**}}{\{3\rho_{j'}^{**2} + 4\rho_{j'}^{**} + 2\} \times \{\lambda_{j'}^{**} \times (p_{00} + p_{01})\}} \leq \gamma^{**} \right\} \geq 1 - \alpha \quad 47$$

$$100(1 - \frac{\rho_j^*}{g_j^*}) \leq \beta$$

$$100(1 - \frac{\rho_j^{**}}{g_j^{**}}) \leq \beta$$

$$x_{ij}^*, x_{ij}^{**}, x_i^*, x_i^{**} \in (0,1) \forall i, j \quad 48$$

بنابراین دو محدودیت ۲۰ و ۲۱ به مدل افزوده شده اند به این منظور که در صورتی که اگر حداقل یکی از تسهیلات کلینیک ها استقرار یابد پوشش منطقه توسط کلینیک (سطح اول) امکان پذیر می شود، این محدودیت برای بیمارستان‌ها نیز تکرار می شود. معادله ۲۲ تعداد تسهیلات مربوط به کلینیک بیمارستان را مشخص می کند.

معادله ۲۵ بیانگر تابع هدف مساله در گام دوم (سطح عملیاتی تصمیم گیری) است که قصد دارد مجموع نرخ تقاضاهای از دست رفته در هر یک از مراکز درمانی در دو سطح کلینیک و بیمارستان را کمینه نماید. معادله ۲۶ و ۲۷ متوسط نرخ ورود بیماران به هر یک از مراکز درمانی (به ترتیب برای کلینیک ها و بیمارستان ها) را نشان می دهد که در آن  $b_n$  تابع گریز (بی میلی) بیماران است که به صورت  $\frac{1}{n^2+1}$  در نظر گرفته ایم. معادله ۲۸ و ۲۹ مجموع نرخ تقاضاهای تخصیص یافته به تسهیلات هر یک از سطوح را نشان می دهد.

معادلات ۳۰ و ۳۱ حد ایده آل برای زمان انتظار در سیستم (به ترتیب برای کلینیک ها و بیمارستان ها) را بیان می کند. معادله ۳۰ بر اساس زمان انتظار در سیستم تک ایستگاهه با نظم  $(M/M/C):(GD/\infty/\infty)$  محاسبه شده است، همچنین معادله ۳۱ بر اساس زمان انتظار در سیستم دو ایستگاهه محاسبه شده است که در آن  $p_{01}$  و  $p_{00}$  احتمال این است که بیمار وارد ایستگاه اول شود، باید توجه نمود که وارد بیمارستان شدن مستلزم ورود به ایستگاه اول یعنی تشخیص است چه در صورتی که بیمار مستقیماً به بیمارستان (فرآیند کلینیک تابع بیمارستان - بیمارستان) رفته باشد و چه در صورتی که از کلینیک مستقل به بیمارستان ارجاع یافته باشد؛ این احتمال در نرخ ورود بیمار ضرب شده تا نرخ موثر ورودی در نظر گرفته شود. معادله ۳۲ و ۳۳ حد ایده آل برای درصد زمانهای بیکاری خدمت دهندگان (به ترتیب برای کلینیک ها و بیمارستان ها) را بیان می کند.

از آنجایی که محدودیت های ۳۰ تا ۳۳ که محدودیت های مربوط به حد ایده آل هستند، امکان دارد این محدودیت ها به صورت همزمان برقرار نباشند زیرا حداقل کردن زمان بیکاری در سیستم و زمان انتظار بیماران تا نوبت ویزیت به صورت همزمان صورت صد درصد در عمل امکان پذیر نیست؛ بنابراین ما علاقه مندیم که در اکثر مواقع برقرار باشند، لذا این محدودیت ها را به صورت رابطه ۴۷ تغییر می دهیم. در این رابطه علاقه مندیم این نامساوی ها با احتمال  $1-\alpha$  که عموماً ۹۰ یا ۹۵ درصد در نظر گرفته می شود، برقرار باشند. همچنین در این مدل اندیس  $s$  بیانگر سناریوهای مختلف است که احتمال رخداد هر یک از آنها برابر  $p_s$  است و نرخ مراجعه بیمار به هر یک از مراکز درمانی نیز این اندیس را می پذیرد.

$$\frac{\left[ \frac{g_j^* \rho_j^*}{(g_j^* - \rho_j^*)^2} \right] p_{g_j^*}}{\lambda_j^*} + \frac{1}{\mu_j^*} \leq \gamma^* + \delta_s M \quad ۶۱$$

$$\frac{5\rho_{j'}^{**2} + 4\rho_{j'}^{**}}{\{3\rho_{j'}^{**2} + 4\rho_{j'}^{**} + 2\} \times \{\lambda_{j'}^{**} \times (p_{00} + p_{01})\}} \leq \gamma^{**} + \delta_s M \quad ۶۲$$

$$100(1 - \frac{\rho_j^*}{g_j^*}) \leq \beta + \delta_s M \quad ۶۳$$

$$100(1 - \frac{\rho_{j'}^{**}}{g_{j'}^{**}}) \leq \beta + \delta_s M \quad ۶۴$$

$$\sum_{s=1}^S \delta_s p_s \leq 1 - \alpha \quad ۶۵$$

$$x_{ij}^*, x_{ij}^{**}, x_i^*, x_i^{**} \in (0,1) \forall i, j \quad ۶۶$$

$$\bar{Y}_i \in (0,1) \forall i \quad ۶۷$$

$$\lambda_{js}^*, \lambda_{j's}^{**}, \bar{\lambda}_{js}^*, \bar{\lambda}_{j's}^{**}, \rho_{js}^*, \rho_{j's}^{**} \geq 0 \forall j, j', s \quad ۶۸$$

$$\delta_s \in \{0,1\} \forall s \in 1, \dots, S \quad ۶۹$$

در مدل فوق از طریق به کارگیری محدودیت مساله کوله پشتی، محدودیت های احتمالی اجرا می شوند. به علت وجود تعداد زیاد محدودیت ها و متغیرهای باینری (پوشش یا عدم پوشش نقاط تقاضا، استقرار یا عدم استقرار هر یک از مراکز درمانی شامل کلینیک ها و بیمارستان ها و سناریوهای مورد بررسی) مساله درجه سختی بالایی دارد، و به عنوان یک مساله NP-Hard شناخته شده است.

### یافته ها

برای حل مساله چند هدفه از روش وزن دهی استفاده می نمائیم. همانطور که اشاره شد مساله مورد نظر (بوئژه برای مثال با ساینز بزرگ) درجه سختی بالایی دارد، و یک مساله از نوع NP-Hard است. بنابراین در این مقاله، به منظور ارزیابی مدل، تنها چند مثال در ساینز کوچک را حل می نمائیم. داده های مربوط به مثال های عددی با مشورت پرسنلو از طریق نرم افزار SPSS به صورت داده های تصادفی تولید شده است. حل دقیق

$$\bar{Y}_i \in (0,1) \forall i \quad ۴۹$$

$$\lambda_{js}^*, \lambda_{j's}^{**}, \bar{\lambda}_{js}^*, \bar{\lambda}_{j's}^{**}, \rho_{js}^*, \rho_{j's}^{**} \geq 0 \forall j, j', s \quad ۵۰$$

### مدلسازی قطعی معادل مدل پیشنهادی

به وضوح مشخص است که مدل پیشنهادی غیر محدب است، بنابراین در این بخش مدل قطعی معادل با مدل احتمالی پیشنهادی را با تعریف محدودیت های M بزرگ ارائه می نماییم. همانطور که مشاهده می شود، مدل نهایی یک مدل قطعی با سه هدف می باشد.

$$\min Z_1 = \sum_i \theta_i \bar{Y}_i \quad ۵۱$$

$$\min Z_2 = \sum_i c_i^* x_{ij}^* + c_i^{**} x_{ij}^{**}$$

$$\min Z_3 = \sum_i \left\{ \sum_{s=1}^S \sum_{j \in N_i^*} p_s (\lambda_{js}^* - \bar{\lambda}_{js}^*) + \sum_{s=1}^S \sum_{j \in N_i^{**}} p_s (\lambda_{js}^{**} - \bar{\lambda}_{j's}^{**}) \right\}$$

s.t.

$$\sum_{i \in N_i^*} x_i^* + \sum_{i \in M_i^{**}} x_i^{**} + \bar{Y}_i \geq 1 \forall i, j \quad ۵۲$$

$$\sum_{i \in N_i^*} x_i^* + \bar{Y}_i \geq 1 \forall i, j \quad ۵۳$$

$$x_i^* \leq \sum_j x_{ij}^* \quad ۵۴$$

$$x_i^{**} \leq \sum_j x_{ij}^{**} \quad ۵۵$$

$$\sum_{i,j} x_{ij}^{**} = p^{**}, \sum_{i,j} x_{ij}^* = p^* \quad ۵۶$$

$$\bar{\lambda}_{js}^* = \lambda_{js}^* \sum_{n \in N} b_n p_n \quad ۵۷$$

$$\bar{\lambda}_{j's}^{**} = \lambda_{j's}^{**} \sum_{n \in N} b_n p_n \quad ۵۸$$

$$\lambda_{js}^* = \sum_{i \in N_i^*} d_i^* x_{ij}^* \quad ۵۹$$

$$\lambda_{j's}^{**} = \sum_{i \in N_i^{**}} d_i^{**} x_{ij}^{**} \quad ۶۰$$

از طریق نرم افزار GAMS 22.3 و با حل کننده CPLEX و بر روی یک کامپیوتر CORE i5 با مشخصات حافظه ۴ گیگابایت شرح داده ایم.

جدول ۱. مشخصات سه مثال عددی برای ارزیابی مدل

شماره مساله	تعداد نقاط تقاضا	تعداد موردنیاز تسهیلات سطح یک (کلینیک)	تعداد موردنیاز تسهیلات سطح دو (بیمارستان)
۱	۵	۳	۱
۲	۷	۵	۱
۴	۹	۵	۲

نتایج اجرای مدل برای ۳ مساله به شرح جدول ۲ و ۳ و ۴ است. با توجه به اینکه تقریباً بیشتر بیماران در مواجهه با کلینیک هایی که برای دریافت زمان ویزیت باید زمان طولانی منتظر بمانند، به کلینیک های مشابه مراجعه می نمایند؛ بنابراین نرخ ورود آنها تابعی کاهنده نسبت به زمان انتظار آنها

(یا به عبارتی افرادی که قبل از آنها باید ویزیت شوند) است. بنابراین سیستم همواره در حالت پایدار خواهد ماند زیرا اگر فرض کنیم که تعداد بیماران به سمت بی نهایت میل کند، نرخ ورود بر اساس تابع کاهنده به سمت صفر میل می کند.

جدول ۲. نتایج اجرای مدل برای مثال عددی اول

تسهیلات فعال	نرخ خدمت دهی	احتمال متناظر	نرخ تقاضا	تعداد نقاط تقاضا
کلینیک ۱ و ۲	۰/۵	۰/۶	۰/۵	۵
	۱			
	۲			
	۵			
کلینیک ۱ و ۲	۱	۰/۶	۰/۵	۵
	۱/۵			
	۳			
	۷			
کلینیک ۳ و بیمارستان ۱	۰/۵	۰/۳	۴	۵
	۱			
	۲			
	۵			
کلینیک ۳ و ۲	۱	۰/۳	۴	۵
	۱/۵			
	۳			
	۷			
کلینیک ۳ و بیمارستان ۱	۰/۵	۰/۱	۴	۵
	۱			
	۲			
	۵			
کلینیک ۳ و ۲	۱	۰/۱	۴	۵
	۱/۵			
	۳			
	۷			



## بحث و نتیجه‌گیری

در این مقاله، مساله مکان‌یابی حداکثر پوشش سلسله‌مراتبی با دو سطح خدمت‌دهی شامل کلینیک و بیمارستان، و با در نظر گرفتن نرخ خدمت‌دهی به بیماران قلب‌بیررسی شده است. همان‌طور که بیان شد، هدف اولیه این مساله حداقل نمودن نقاط تقاضای پوشش نیافته، و هدف ثانویه کمینه‌سازی نرخ تقاضاهای از دست‌رفته به عنوان معیاری برای حفظ بیماران بالقوه در شعاع پوشش بوده است.

عموماً برای مکان‌یابی مراکز درمانی تعداد ساکنین منطقه مورد ارزیابی قرار می‌گیرند. اما به عنوان مثال با بررسی در شهر تهران می‌توان دریافت که گاهی تعداد کلینیک‌ها بسیار زیاد می‌باشد که این تصور را ایجاد می‌کند که آن منطقه به خوبی تحت پوشش دهی قرار گرفته است؛ در حال که به علت خدمت‌دهی نامناسب، کمبود افراد متخصص، و عدم رعایت سلسله‌مراتب (ارجاع بیمار به مراکز با امکانات بیشتر در صورت لزوم) حتی علاوه بر هزینه‌های اضافی برای بیمار، سلامت بیمار را نیز تحت شعاع قرار داده‌اند. و بنابراین هزینه‌های زیادی که برای احداث این مراکز انجام شده است در حقیقت نتوانسته باعث ارتقای سلامت بیماران شود. به عنوان نمونه کمبود نیروی متخصص در یک کلینیک در یکی از مناطق تهران (نارمک) و عدم وجود دستگاه دفیوژر باعث مرگ فردی با سابقه فشار خون گشته است، که پرونده پزشکی قانونی این فرد هنوز در جریان می‌باشد. در حالی که اگر کلینیک‌ها با رعایت حالت سلسله‌مراتبی (از لحاظ امکانات و افراد متخصص) و با در نظر گرفتن تعداد پرسنل و تعداد افراد متخصص (نرخ خدمت‌دهی)، و به صورت یکپارچه با بیمارستانها مکان‌یابی شوند، در حداقل زمان از دست‌رفته عوارض احتمالی به حداقل می‌رسد و سلامت بیماران با خطر مواجه نمی‌شود.

در این مقاله تصمیم‌گیری در مورد مکان‌یابی سلسله‌مراتبی بیمارستان و کلینیک‌ها با در نظر گرفتن ابعاد مختلف مساله در دو بعد استراتژیک و عملیاتی نظیر هزینه‌های احداث، نامعینی تقاضای بیماران، نرخ مراجعه بیماران، و نرخ خدمت‌دهی در مراکز درمانی بررسی شده است. در واقع در نظر گرفتن این جزئیات هنگام تصمیم‌گیری موجب می‌شود که تصمیم بهینه اتخاذ شده، در شرایط مختلف و با تغییر شرایط بهینه باقی بماند. این مدل برای مکان‌یابی مراکز درمانی در مناطق محروم با الگو گرفتن از مناطق مشابه (به منظور یافتن نرخ خدمت‌دهی بیمارستان‌ها و کلینیک‌ها) قابل استفاده است.

در ابتدا تصور ما بر آن بود که اگر بیمارستانها و کلینیک‌ها در فاصله با یکدیگر قرار بگیرند می‌توانند افراد بیشتری را

تحت پوشش قرار دهند که این دیدگاه بر اساس مکان‌یابی صرفاً بر اساس پوشش‌دهی نقاط تقاضا برای ما ایجاد شده بود؛ در حالی که پس از انجام این پژوهش و با ملاحظه نتایج حاصل از آن دریافتیم که بهترین حالت آن است که کلینیک‌ها تحت پوشش یک بیمارستان نزدیک به خود قرار بگیرند. در حقیقت اگر در مجاورت (و یا حتی فضای داخلی) بیمارستان درمانگاه تخصصی وجود داشته باشد، یک بیمار با شرایط مناسب با ویزیت در کلینیک (مطابق با مورد بررسی ما که بیمار قلبی بوده است) و با انجام یک نوار قلبی ویزیت شده و پس از معاینه پزشک، در صورت صلاحدید پزشک با کمترین زمان از دست‌رفته در فضای خود بیمارستان نوبت دهی جهت انجام اکو، تست ورزش و یا تالیوم اسکن انجام می‌شود و یا در صورت داشتن زمان کافی در همان روز کار بیمار انجام می‌شود. و پزشک با توجه به نتایج آزمایشات برای بیمار تصمیم‌گیری قطعی می‌نماید. همچنین اگر بیمار در وضعیت اورژانسی باشد سریعاً در بخش اورژانس مرکز بستری شده و اقدامات اورژانسی جهت آنژیوگرافی برای بیمار در نظر گرفته می‌شود و بیمار و همراهانش کمتر درگیر مشکلات ناشی از پذیرش در بیمارستان دیگر می‌شوند و تمام پیگیری‌ها و ارجاع‌دهی‌ها توسط پرسنل بیمارستان انجام می‌شود و هزینه‌های اضافی بیمار نیز کاهش می‌یابد. این امر در مقابل حالتی قرار دارد که پذیرش بیماران در سطح بیمارستان به بیمارستان (حتی در داخل یک شهر) انجام می‌شود؛ به عنوان مثال گاهی از مرکز لقمان به مرکز قلب ارجاع بیمار برای تعبیه پیس‌دائم یا آنژیوپلاستی اورژانسی انجام می‌شود که نیاز سریع برای پذیرش بیمار و هماهنگی با آمبولانس باعث استرس و نگرانی همراهان می‌شود و موجب مشکلات جسمی، روحی و مالی برای بیمار و همراهان می‌گردد. در مورد ارجاع‌دهی و پذیرش از خارج شهر نیز این مشکلات بیشتر می‌شود، که لزوم مکان‌یابی سلسله‌مراتبی و با توجه به نرخ خدمت‌دهی با توجه به تعداد پرسنل و متخصصان را بیشتر می‌نماید. به عنوان مثال گاهی ارجاع از شهرستان‌های دور نظیر زاهدان یا گنبد برای اعمالی نظیر تعبیه پیس‌دائم به مرکز قلب انجام می‌شود، که به علت طولانی بودن رویه‌های درمانی بیمار و همراهان او با مشکلات متعددی نظیر عدم مکان مناسب برای اقامت، افزایش هزینه‌های اضافی برای همراهان و هزینه‌های آمبولانس پیشرفته جهت انتقال به تهران و برگشت روبرو می‌شوند. با توجه به نمونه‌های ذکر شده می‌توانیم نتیجه بگیریم که جواب حاصل از مدل پیشنهادی با آنچه در واقعیت اتفاق می‌افتد انطباق دارد و می‌تواند بسیاری از مشکلات را نه پس از احداث مراکز درمانی و صرف هزینه‌های کلان، بلکه پیش از هر گونه اقدامی و به وسیله تصمیم‌گیری بهینه و هوشمندانه

مربوط به تصمیمات استراتژیک و عملیاتی مد نظر قرار داده نشده است. همچنین آنها مساله را به صورت قطعی در نظر گرفته و سناریوهای مختلف را بررسی ننموده اند. مطالعه آنها خارج از حوزه سلامت بوده است و بنابراین در زمینه کارآمدی و نتایج قابل مقایسه با مدل پیشنهادی نمی‌باشد. با توجه به اینکه در این مقاله تنها به تحلیل سیستم صف در مراکز درمانی بیماری‌های قلبی‌پری‌داخته شده است، در مطالعات آتی می‌توان به بررسی سیستم صف در کلیه بخش‌ها پرداخت تا به نتیجه‌گیری جامع‌تری برای احداث مراکز درمانی با بخش‌های متعدد دست یافت. همچنین با توجه به اینکه در این مقاله مساله در سایز کوچک حل شده است، می‌توان مساله را برای سایز بزرگتر با الگوریتم‌های فراابتکاری حل نمود.

### قدردانی

بدین وسیله از کلیه پرسنل مرکز قلب تهران که وقت ارزشمند خود را برای گردآوری اطلاعات در اختیار ما قرار داده اند، تشکر و قدردانی می‌نمائیم.

حل نماید، که این امر نکته قوت این پژوهش نسبت به پژوهش‌های قبلی نظیر محمدی و همکاران (۱۶) و آن و همکاران (۲۱) است. در واقع در دو مقاله فوق تصمیمات مکانیابی و تحلیل صف به صورت همزمان انجام شده است و افق‌های زمانی متفاوت مربوط به تصمیمات استراتژیک و عملیاتی مد نظر قرار داده نشده است. همچنین آنها مساله را به صورت قطعی در نظر گرفته و سناریوهای مختلف را بررسی ننموده اند که این امر موجب شده است کارآمدی مدل پیشنهادی آنها نسبت به مدل پیشنهادی این مقاله کمتر باشد. لازم به ذکر است که کارآمدی مورد بحث دستیابی به اهداف از جمله حداقل نمودن هزینه‌ها، حداقل نمودن نقاط تقاضای پوشش نیافته، و کمینه‌سازی نرخ تقاضاهای از دست‌رفته است. در مقالات داخلی، چنین رویکردی مد نظر قرار نگرفته است، با این وجود در برخی مطالعات نظیر (۲۲) به ترکیب مسائل مکانیابی و تئوری صف پرداخته شده است. در مطالعه ارکات و زمانی (۲۲) مکان‌یابی شبکه‌ای برای تسهیلات مستعد ازدحام با در نظر گرفتن امکان انصراف مشتریان قبل از ورود، بررسی شده است. با این حال در آن مطالعه نیز افق‌های زمانی متفاوت

## References

- 1) Narula, S. C. (1984). Hierarchical location-allocation problems: a classification scheme. *European Journal of Operational Research*, 15(1), 93-99.
- 2) Hodgson, M. J. (1988). An hierarchical location-allocation model for primary health care delivery in a developing area. *Social Science & Medicine*, 26(1), 153-161.
- 3) Syam, S. S., & Côté, M. J. (2010). A location-allocation model for service providers with application to not-for-profit health care organizations. *Omega*, 38(3), 157-166. [
- 4) Moore, G. C., & ReVelle, C. (1982). The hierarchical service location problem. *Management Science*, 28(7), 775-780.
- 5) Mehrez A. (1996) On the implementation of quantitative facility location models: the case of a hospital in a rural region. *Journal of the Operational Research Society*; 47:612-25.
- 6) Harper PR, Shahani AK, Gallagher JE, Bowie C. (2005) Planning health services with explicit geographical considerations: a stochastic location-allocation approach. *Omega*; 33:141-52.
- 7) Yaghfoori H, Sahrai A, Khalifelo S. (2014) The Landuse Planning of Urban Areas and Optimal Locating with Emphasis on Health Centers: A Case Study of Zone 3 in Zahedan City. *jhossp*; 13 (2) :9-20.
- 8) Price W, Turcotte M. (1986) Locating a blood bank. *Interfaces*; 16:17-26.
- 9) Şahin, G., & Süral, H. (2007). A review of hierarchical facility location models. *Computers & Operations Research*, 34(8), 2310-2331.
- 10) Teixeira, J. C., & Antunes, A. P. (2008). A hierarchical location model for public facility planning. *European Journal of Operational Research*, 185(1), 92-104.
- 11) Shariff, S. S., Moin, N. H., & Omar, M. (2012). Location allocation modeling for healthcare facility planning in Malaysia. *Computers & Industrial Engineering*, 62(4), 1000-1010.
- 12) Şahin, G., Süral, H., & Meral, S. (2007). Locational analysis for regionalization of Turkish Red Crescent blood services. *Computers & operations research*, 34(3), 692-704.
- 13) Shavandi, H. and H. Mahlooji (2006). "A fuzzy queuing location model with a genetic algorithm for congested systems." *Applied Mathematics and Computation* 181(1): 440-456.
- 14) Cochran, J. K. and K. T. Roche (2009). "A multi-class queuing network analysis methodology for improving hospital emergency department performance." *Computers & Operations Research* 36(5): 1497-1512.



- 15) Marianov V, Rios M, Jose Icaza M (2007) "Facility location for market capture when users rank facilities by shorter travel and waiting times". *European Journal of Operational Research*, doi: 10.1016/j.ejor. 2007.07.025
- 16) Mohammadi, M., Dehbari, S., & Vahdani, B. (2014). Design of a bi-objective reliable healthcare network with finite capacity queue under service covering uncertainty. *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review*, 72, 15-41
- 17) Berman Oded, Huang Rongbing, Seokjin Kim and Mozart B. C. Menezes. (2007) "A Locating capacitated facilities to maximize captured demand ", *IIE Transactions* 1015–1029.39
- 18) Beraldi, P. and M. E. Bruni (2009). "A probabilistic model applied to emergency service vehicle location." *European Journal of Operational Research* 196(1): 323-331.
- 19) Vass, H., & Szabo, Z. K. (2015). Application of Queuing Model to Patient Flow in Emergency Department. Case Study. *Procedia Economics and Finance*, 32, 479-487.
- 20) Hamdy Taha: *Operations Research: An Introduction*, 7th Ed, Prentice Hall of India, Inc, 2005.
- 21) An, S., Cui, N., Bai, Y., Xie, W., Chen, M., & Ouyang, Y. (2015). Reliable emergency service facility location under facility disruption, en-route congestion and in-facility queuing. *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review*, 82, 199-216.
- 22) Arkat, J and Zamani, S. . Network Location for Congested Facilities Considering Balking, *Journal of Industrial Engineering Research in Production Systems*. 2013; 1(1):37-44.

# Developing a Probabilistic Two-Stage Model for Hierarchical Healthcare Facility Location by Considering the Service Rate

(A Case Study of Tehran Heart Center)

Kaheh Z<sup>1</sup>, Husseinzadeh Kashan A\*<sup>2</sup>

Submitted: 2014.9.5

Accepted: 2016.8.13

## Abstract:

**Background:** Medical centers location is one of the most important problems which should be considered in different dimensions to improve services delivery. In this paper, the hierarchical maximum covering problem was assessed for bi-level healthcare systems including Clinics and hospitals using taking the service rates into account. The initial objective was minimizing the uncovered demand nodes, and secondary objective was minimizing the lost demand rate as a measure of potentially patients' retention in coverage radius.

**Materials and Methods:** In order to queue system analysis, the serving system assessed in the Tehran heart center hospital. The proposed method is a mathematical optimization model called probabilistic two-stage programming model. To evaluate this model, a number of numerical problems solved by GAMS software.

**Results:** Study results revealed that the best condition for locating the medical centers is adjacent to a hospital. Decision making about the location problem considering the service rate in each healthcare centers, increases the reliability to the result of the optimization model, decreasing costs and the lost demand rate.

**Conclusion:** The proposed model is able to help the decision makers to attain an optimized decision for locating the medical centers in deprived areas, inspired by the medical centers in areas with similar population. Therefore, if the clinics and hospitals locating considered the hierarchical model and their service rates, the patients' welfare will be enhanced.

**Keywords:** Healthcare systems, Hierarchical healthcare facility location, Probabilistic two-stage model, Queuing theory.

<sup>1</sup> MSc in Industrial Engineering, System Management and Productivity, Tarbiat Modarres University, Tehran, Iran

<sup>2</sup> Assistant Professor in Industrial Engineering, Tarbiat Modarres University, Tehran, Iran, (\*Corresponding author), Email: a.kashan@modares.ac.ir, Tel: 982182884398