

مکان‌یابی-تخصیص سلسله‌مراتبی برای خدمات فوریت‌های پزشکی

مورد مطالعه شهر بوشهر

حمید شاهبندرزاده- استادیار، گروه مدیریت صنعتی، دانشکده ادبیات و علوم انسانی، دانشگاه خلیج فارس بوشهر.
غلامرضا جمالی- استادیار، گروه مدیریت صنعتی، دانشکده ادبیات و علوم انسانی، دانشگاه خلیج فارس بوشهر.
مهرداد منصور* - دانشجوی کارشناسی ارشد، گروه مدیریت صنعتی، دانشکده ادبیات و علوم انسانی، دانشگاه خلیج فارس بوشهر؛
me.mansouri@mehr.pgu.ac.ir

تاریخ دریافت: ۹۴/۵/۳۱

تاریخ پذیرش: ۹۴/۷/۱۵

چکیده

خدمات فوریت‌های پزشکی، سیستمی مؤثر و کارآمد برای کمینه کردن خسارت‌های جانی حاصل از بیماری‌ها و حوادث اورژانسی است که برای ارائه خدمات پیش بیمارستانی ایجاد شده است. هدف این سیستم پاسخ‌گویی سریع برای زنده نگه‌داشتن بیماران و در صورت نیاز، انتقال آنها به مراکز درمانی است. عملکرد این سیستم با مسائلی مانند مکان‌یابی پایگاه‌ها و آمبولانس‌ها، تعیین تعداد مورد نیاز آمبولانس‌ها و تخصیص آنها به تماس‌های اورژانسی قابل سنجش است و به وسیله آن، می‌توان به ارتقای عملکرد سیستم پرداخت. بنابراین، مکان‌یابی به منظور پوشش حداکثری مناطق و خدمت‌دهی مطلوب به بیماران، یکی از مسائل پراهمیت سیستم خدمات فوریت‌های پزشکی به‌شمار می‌آید. بدین ترتیب، مسئله مکان‌یابی - تخصیص تسهیلات سیستم خدمات فوریت‌های پزشکی در دو مفهوم مورد نیاز برای برنامه‌ریزی و تصمیم‌گیری اثربخش نمود پیدا می‌کند: (۱) مکان‌یابی تسهیلات خدماتی و ظرفیت آنها، (۲) تخصیص حوزه‌های خدمات به تسهیلات خدماتی. پژوهش حاضر از مدل‌های پوششی و تسهیلات سلسله‌مراتبی استفاده کرده و مدل ریاضی با ترکیبی از تئوری صف را مبنای دستیابی به اهداف پژوهش قرار داده است. مدل پوششی HiQ-MCLP مدلی توسعه‌یافته از مدل MCLP است که برای پوشش حداکثری و افزایش کیفیت خدمات ارائه شده. این پژوهش از مدل ریاضی چند هدفی استفاده کرده که هزینه را کمینه و پوشش را بیشینه می‌کند. مدل در دو سطح برای مکان‌یابی و تخصیص سرویس‌های اورژانسی مانند آمبولانس در سیستم‌های خدمات فوریت‌های پزشکی به‌کار گرفته و در شهر بوشهر پیاده‌سازی شده است. مسئله در سطوح اطمینان و شمار افراد در حال انتظار متفاوت با نرم‌افزار Lingo ۱۵ تحلیل حساسیت شده است.

واژگان کلیدی: مکان‌یابی، تخصیص، مدل پوششی سلسله‌مراتبی، تئوری صف، سیستم خدمات فوریت‌های پزشکی.

Hierarchical location-allocation for emergency medical services

Case study: Boushehr city

Hamid Shahbandar Zadeh¹ Gholam Reza Jamali² Mehrnaz Mansouri^{*3}

Abstract

Emergency medical is an effective and efficient system that is used to minimize complications and casualties arising from emergency illness and events. Thus, Emergency Medical Services (EMS) system has been created in order to provide pre-hospital services. Its objective is quick responsive to treatment and keeping alive patients and finally if needed, patients are transferred to the hospital. System performance is affected by factors such as bases and ambulances' location, determine the number of required ambulance and allocation of them to the emergency calls. Therefore, location in order to maximize the populations that are covered and to provide favorable services to patients is one of major issues in EMS system. Facility location-allocation for EMS in order to effective decision making and programming appears in the two concepts. First, services' facility location and determine its capacity and secondly, allocation demand regions to the services facility. Current study focuses on covering model and hierarchical facility. This study used hierarchical maximal covering location-allocation problem with a combination of queuing theory to achieve the objectives of the research. HiQ-MCLP covering model is the developed model from MCLP that was created in order to maximize coverage and to increasing quality of services. A multi-objective mathematical model has been employed in the current study that minimizes costs and maximizes coverage. The model has been designed on two levels in order to location-allocation emergency vehicles such as ambulance in EMS and has been implemented in Boushehr. The model is solved in different confidence levels with Lingo15 software.

Keywords: Location, Allocation, Hierarchical covering model, Queuing theory, Emergency medical services.

1 Assistant Professor, Department of Industrial Management, Faculty of Literature and Human Science, Persian Gulf University, Boushehr, Iran.
2 Assistant Professor, Department of Industrial Management, Faculty of Literature and Human Science, Persian Gulf University, Boushehr, Iran.
3 MSc student of Industrial Management, Faculty of Literature and Human Science, Persian Gulf University, Boushehr, Iran; me.mansouri@mehr.pgu.ac.ir

مقدمه

امروزه زندگی شهری با افزایش جمعیت، توسعه شهرها و ورود تکنولوژی های جدید دستخوش تغییرات فراوانی شده که البته این تغییرات، تهدیداتی را هم به همراه داشته است. مهم ترین عوامل تأثیرگذار می تواند ناشی از مخاطرات طبیعی، مخاطرات انسانی و مخاطرات فناورانه (تصادف، انتشار مواد شیمیایی و غیره) باشد [۱]. خدمات رسانی پزشکی در زمان وقوع حادثه نقش حیاتی در پاسخ گویی به این رخدادها دارد؛ بنابراین، از دیرزمان مورد توجه قرار گرفته است. این میان، خدمات فوریت های پزشکی (EMS) در زمان حادثه بخشی از اقدامات پیش بیمارستانی است که توسط پدافند غیر عامل انجام می شود. پدافند غیر عامل شهری مجموعه ای از اقدامات پیش گیرانه، کنترلی و باز یابی است که با برنامه ریزی و طرح ریزی اولیه (از پیش تعیین شده) برای کاهش دادن یا برطرف کردن خطرات و تلفات ناشی از رخدادها اعمال می شود.

یکی از مسائل پر اهمیت حوزه مدیریت بحران و سیستم های خدمات فوریت های پزشکی در پدافند غیر عامل، مکان یابی یا جایابی تسهیلات اورژانسی به منظور پوشش حداکثری مناطق و خدمت دهی مطلوب به بیماران است [۱، ۲]. انتخاب مناسب محل استقرار، نقش اساسی در کاهش زمان پاسخ به تقاضا دارد و از این رو، مکان یابی این مراکز در سطح شهرها مهم و قابل بررسی برای است. تخصیص، گام بعدی یا مسئله ی تکمیلی است که به توزیع مناسب تقاضای خدمات به تسهیلات مکان یابی شده برای دستیابی به اهداف خدمات فوریت های پزشکی چون کاهش تلفات، افزایش توان پاسخگویی و کاهش زیان ناشی از دیرکرد آن می پردازد.

این موضوع در حالی معنادار می شود که اگر خدمات اورژانسی در شبکه های خدماتی مانند سلامت، خدمات فوریت های پزشکی، امنیت عمومی، آتش نشانی و گشت پلیس پس از بروز حوادث با مهارت و آگاهی لازم در گام اولیه ی اجرا به درستی انجام نشود، خسارت و عواقب ناخوشایند جانی و مالی به دنبال دارد همچنین هزینه های ناشی از کم کاری و دیرکرد فعالیت های عملیاتی را افزایش می دهد. بنابراین، بی توجهی به موضوع مزبور می تواند در آرامش اجتماعی و آسایش جمعیت شهری یا منطقه تحت پوشش اختلال ایجاد کند. از دیدگاه دیگر، رسیدن به موقع خدمت دهندگان هنگام وقوع حادثه به محل و رساندن به موقع بیماران و مصدومان به مراکز درمانی یکی از اهداف مهم در سیستم خدمات فوریت های پزشکی است. به عبارت دیگر، آنچه برای هر دو طرف خدمت دهنده و خدمت گیرنده مهم تلقی می شود، مدت زمان رسیدن و کیفیت خدمات ارائه شده است [۳] که این پژوهش به این دو هدف با تعیین فاصله یا زمان استاندارد برای پوشش و ترکیب تئوری صف برای کیفیت خدمات پرداخته است.

بدین ترتیب، در پژوهش حاضر موضوع مکان یابی - تخصیص مورد تأکید قرار گرفته که در دو مفهوم برنامه ریزی مورد نیاز تصمیم گیری و اقدامات برای سیستم خدمات پزشکی پدافند غیر عامل نمود پیدا می کند: (۱) مکان یابی تسهیلات خدمات

و ظرفیت آنها، و (۲) تخصیص حوزه های خدمات به تسهیلات خدماتی [۴]. با توجه به تاریخچه پژوهش های انجام شده برای مکان یابی - تخصیص خدمات فوریت های پزشکی، مدل های متعددی بر مبنای ماهیت، پارامترها، نوع سرویس دهنده و نوع خدمات ارائه شده است [۳]. مدل های مکان یابی - تخصیص راه حل های بهینه ای برای حوزه خدماتی سلامت ارائه می دهند، به گونه ای که با دستیابی به هدف حداکثر پوشش و کاهش زمان و مسافت مسیر، هزینه های زیرساخت را نیز کاهش می دهند [۵]. در پژوهش حاضر، مدل ریاضی مکان یابی - تخصیص سلسله مراتبی HiQ-MCLP^۲ برای سیستم های خدمات فوریت های پزشکی در مکان یابی بهینه پایگاه های آمبولانس بر اساس جمعیت، تقاضای خدمات و تخصیص تقاضا به پایگاه ها به کار گرفته شده است. این پژوهش در بخش دوم به پیشینه و ادبیات پژوهشی مسئله مکان یابی و تخصیص در حوزه خدمات سلامت و به صورت خاص در زمینه خدمات فوریت های پزشکی می پردازد. در بخش سوم، مدل ریاضی مکان یابی - تخصیص توصیف می شود. بخش چهارم و پنجم از این پژوهش به نتایج حاصل از مدل مورد مطالعه می پردازد و سپس نتیجه گیری و پیشنهادها مطرح می شود.

مرور ادبیات پژوهشی

خدمات فوریت های پزشکی (EMS) اثربخش سهمی حیاتی در سیستم بهداشت و درمان دارد که پرداختن به مسائل مکان یابی، ظرفیت و چیدمان مرتبط با این سیستم به همراه تکنیک های گوناگون مدل سازی از دیرزمان مورد توجه پژوهشگران قرار گرفته است. خدمات فوریت های پزشکی سیستمی مؤثر و کارآمد برای حداقل سازی پیشامدهای ناگوار و تلفات جانی ناشی از بیماری ها و حوادث اورژانسی است که در کشورهای مختلف جهان با قوانین عمومی و محلی برای فراهم آوردن خدمات پیش بیمارستانی ایجاد شده است. هدف این سیستم پاسخگویی سریع برای زنده نگه داشتن بیماران، درمان و در صورت نیاز انتقال آنها به مراکز درمانی است. از دید تورو [۶] عملکرد این سیستم از سه عامل مکان یابی پایگاه ها و آمبولانس ها، تعیین تعداد مورد نیاز آمبولانس ها و تخصیص آنها به تماس های اورژانسی تأثیر می پذیرد. به موقع بودن یکی از اهداف مهم برای انعکاس کیفیت خدمات سیستم خدمات فوریت های پزشکی به حساب می آید و از طریق روش های زیر محاسبه می شود [۷]:

- (۱) کمینه کردن زمان کل یا میانگین خدمت رسانی به تمام تماس هاس اورژانسی؛
- (۲) کمینه کردن بیشینه زمان حرکت سرورهای خدمت رسان به ازای هر تماس اورژانسی؛
- (۳) بیشینه کردن پوشش منطقه (اطمینان از اینکه برخی از مناطق مورد نظر در ناحیه در زمان استاندارد پوشش داده شود)؛
- (۴) بیشینه کردن پوشش تماس ها (اطمینان از اینکه برخی تماس ها در ناحیه در زمان استاندارد پوشش داده شود).

مکان‌یابی خدمات فوریت‌های پزشکی بخشی از مسائل مکان‌یابی تسهیلات عمومی است. بنابراین، برای مکان‌یابی این گونه سیستم‌ها باید به شناخت حداقلی از مکان‌یابی تسهیلات عمومی دست یافت. به‌طور کلی، مکان‌یابی-تخصیص تسهیلات روشی توانمند برای جایابی تسهیلات همراه با تعیین چگونگی تخصیص تقاضا به تسهیلات مکان‌یابی شده ایجاد می‌کند که منجر به به‌کارگیری موثر منابع می‌شود [۲]. یکی از مهم‌ترین و نخستین مدل‌های مکان‌یابی تسهیلات مدل هایپرکوب است که لارسون در سال ۱۹۷۴ [۸] برای مکان‌یابی تسهیلات خدمات‌رسانی اورژانس شهری نیویورک ارائه کرد. لارسون در مدل خود از تئوری صف با سیستم M/M/N برای مکان‌یابی و تخصیص خدمت‌دهنده‌ها استفاده کرد که در نهایت به نتایج قطعی دست یافت. اما در پژوهش بعدی خود از متغیرهای غیرقطعی و احتمالی برای دستیابی به نتایجی نزدیک به واقعیت بهره گرفت. تاکنون با مدل‌های گوناگونی مانند مجموعه پوششی، بیشینه پوشش، هاب و مدل‌های ترکیبی بهینه‌سازی و شبیه‌سازی با رویکردهای متفاوت قطعی، احتمالی و پویا به مسئله مکان‌یابی - تخصیص پرداخته شده که در پژوهش حاضر از مدل‌های پوششی برای دستیابی به اهداف سیستم خدمات فوریت‌های پزشکی استفاده شده است. از دید فراهانی و همکاران [۹]، مفهوم پوشش با دسترس‌پذیری از یک تسهیلات رضایت‌بخش به‌جای بهترین تسهیلات ممکن مرتبط است. این میان، مدل‌های مکان‌یابی پوششی به دنبال یافتن الگوی مناسب مکان‌یابی تسهیلات هستند به گونه‌ای که جمعیت یک ناحیه را با کمترین تعداد تسهیلات پوشش دهند. زمانی جمعیت یک ناحیه تحت پوشش قرار می‌گیرد که حداقل یک تسهیلات در فاصله یا زمان استاندارد از آن قرار گرفته باشد. این تعریف در مدل‌های ابتدایی مکان‌یابی مسئله پوششی مجموعه مکان‌یابی (LSCLP) [۱۰] و مسئله مکان‌یابی حداکثر پوشش (MCLP) [۱۱] به‌کاربرده می‌شود. البته با این تفاوت که در مسئله دوم با تعداد تسهیلات تعیین شده به دنبال حداکثر پوشش جمعیت است. MCLP یکی از پرکاربردترین مدل‌های مکان‌یابی از دید تئوری و عملیاتی است که در حوزه‌های مختلفی به خصوص حوزه درمان مورد استفاده قرار گرفته [۵]. MCLP در ویژگی‌های گوناگونی مانند محدودیت ظرفیت‌دار یا بدون ظرفیت مشخص [۱۲]، افزودن هزینه‌های ثابت و متغیر [۱۳، ۱۴]، محدودیت کیفیت و سلسله‌مراتبی تسهیلات [۱۵] برای مکان‌یابی وسایل نقلیه اورژانسی توسعه یافته است.

در این بین، سلسله‌مراتب در حوزه پژوهشی مکان‌یابی و به خصوص در مدل‌های مورد استفاده حوزه‌های خدمات فوریت‌های پزشکی به دلیل توجه به جزئیات مسئله و افزایش اطمینان از پوشش حداکثری تأکید و به‌کار گرفته شد به گونه‌ای که ماریانو و سرا در پژوهش [۱۶] به اهمیت تسهیلات سلسله‌مراتبی مکان‌یابی پرداختند و خود دو مدل سلسله‌مراتبی مکان‌یابی - تخصیص بر پایه‌ی مدل‌های پوششی ارائه دادند. مدل‌های مکان‌یابی سلسله‌مراتبی تسهیلات کاربردهای گوناگونی داشته که می‌توان به برخی از آنها در قالب پژوهش‌های سیستم‌های بهداشت و

سلامت [۱۷، ۱۸]، سیستم تولید-توزیع [۱۹]، سیستم آموزشی [۲۰] و سیستم‌های دفع ضایعات [۲۱] اشاره کرد. سیستم خدمات فوریت‌های پزشکی یکی دیگر از کاربردهای مکان‌یابی تسهیلات است که دو سطح خدمات پشتیبانی پایه و خدمات پشتیبانی پیشرفته را شامل می‌شود. برخی از پژوهش‌ها در این زمینه [۱۰] و [۲۲] هستند. گالوا [۱۸] مسئله مکان‌یابی سلسله‌مراتبی دو سطحی ارائه داده و در این زمینه پژوهش‌های مهم دیگری با سطوح متفاوت سلسله‌مراتبی برای نمونه [۲۳، ۲۴، ۲۰، ۱۷] انجام شده است. در پژوهش حاضر هم در سیستم‌های خدمات فوریت‌های پزشکی که تحت نظر پدافند غیرعامل هستند، به‌کار گرفته شده است.

با این حال، پژوهش‌هایی در این زمینه انجام شده تا به روشنی اهمیت آن را در مشکلات واقعی پیش‌روی سیستم‌ها نشان دهد. مثلاً داسکین [۲۵] نخستین بار به بررسی تأثیرات لایه‌های سلسله‌مراتبی بر مکان‌یابی پرداخته است. سلسله‌مراتب تسهیلات پی‌درپی را در دو دسته فراگیر و منحصر به فرد قرار داده که در تسهیلات فراگیر هر سطح تمام خدمات سطح پایین‌تر از خود را هم ارائه می‌دهد، در صورتی‌که دسته دوم هر سطح تنها خدمات مرتبط با همان سطح را به درخواست‌کنندگان عرضه می‌کند. مدل‌های سلسله‌مراتبی مکان‌یابی-تخصیص از دید نارولا [۲۶] با توجه به ارتباط میان سطوح متفاوت تسهیلات و توسط ساهین و سورال [۱۴] با در نظر گرفتن ارتباط میان درخواست‌کنندگان خدمات و تسهیلات، دسترس‌پذیری خدمات در هر سطح از تسهیلات و ترکیب چند بعدی خدمات دسته‌بندی شده‌اند. پژوهش دیگری توسط فراهانی و همکاران [۹] به مرور جامع پژوهش‌های انجام شده در زمینه مکان‌یابی تسهیلات سلسله‌مراتبی پرداخته و مدل‌ها، تکنیک‌ها و کاربردهای آن را بر اساس ویژگی‌هایی چون دسترسی خدمات، تابع هدف، ظرفیت و کاربرد در جهان واقعی دسته‌بندی کرده و مورد بررسی قرار داده است. تکسیرا [۲۰] با توجه به تقاضای تخصیص داده شده به تسهیلات، سه الگو برای مدل‌های سلسله‌مراتبی ارائه داده است: تخصیص نزدیک‌ترین، تخصیص منفرد، و تخصیص مسیر. در پژوهش حاضر با توجه به حساسیت زمانی برای رسیدن به موقع به محل حادثه در فاصله یا زمان استاندارد از الگوی تخصیص به نزدیک‌ترین استفاده می‌شود. البته این موضوع تا زمانی ممکن است که تعداد سرور مورد نیاز در نزدیک‌ترین پایگاه وجود داشته باشد. به همین دلیل، برای اطمینان از پوشش به موقع، احتمال مشغولی سرور مهم تلقی شده و برای نخستین بار در مدل مکان‌یابی حداکثر پوشش مورد انتظار (MEXCLP) [۲۷] مطرح و محاسبه شد.

اکنون با توجه به تأکید پژوهش حاضر بر مسئله پوششی MCLP و ویژگی سلسله‌مراتبی می‌توان به مدل مور و رول [۲۸] برای توسعه MCLP به اهمیت سطوح متفاوت تسهیلات در خدمات پزشکی اشاره کرد. بر این اساس، مدل سلسله‌مراتبی مکان‌یابی حداکثر پوششی (HCLP) [۲۹] با توجه به نیاز بیماران به انواع مختلف خدمات برای حوزه خدمات پزشکی ارائه شد. پس از آن، مندل [۱۵] مدل پوششی دو سطحی برای مکان‌یابی

سیستم های خدمات فوریت های پزشکی ارائه کرد که هدف آن، حداکثرسازی تعداد تماس های خدمات رسانی است. در این پژوهش همچنین برای کنترل دسترس پذیری سرورهای اورژانسی مانند آمبولانس به محاسبه میزان دسترسی سرورها از روش مدل صف دو بعدی استفاده شده است. ماریانو و سرا [۱۶] از ترکیب تئوری صف برای مدل های مکان یابی - تخصیص سلسله مراتبی استفاده و این رویکرد تصادفی دو مدل MCLP و LSCP را با افزودن دو محدودیت کیفیت توسعه داده و مدل ها را به واقعیت نزدیک تر کرده اند. البته شیوه ی دیگری، یعنی استفاده از شرایط فازی هم برای دقت در برآورد و دستیابی به مدل واقعی وجود دارد که در پژوهش [۲۹] برای سیستم های خدماتی مانند سیستم خدمات فوریت های پزشکی [۵] و مدل چندهدفی فازی برای خدمات فوریت های پزشکی به کار گرفته شده است.

پژوهش حاضر به دلیل استفاده از مدل های پوششی و تسهیلات سلسله مراتبی، بیشتر بر پژوهش های مرتبط با این موضوع برای ارائه پیشینه تأکید داشته و از بیان مسائل جانبی آن صرف نظر کرده است. مدل ریاضی مکان یابی - تخصیص سلسله مراتبی حداکثر پوشش مبنای این پژوهش قرار گرفته و مدل ریاضی مورد استفاده از آن استخراج شده است. مدل پوششی HiQ-MCLP مدلی توسعه یافته از مدل MCLP بوده که با ترکیب تئوری صف برای حداکثر پوشش و افزایش کیفیت خدمات و مسئله سلسله مراتبی آن به منظور کاهش هزینه های مکان یابی و افزایش پوشش جمعیتی ایجاد شده است که در بخش مدل سازی به طور کامل شرح داده می شود.

تعریف مسئله و محدودیت های آن

در این بخش مدل مکان یابی - تخصیص با تأکید بر تسهیلات سلسله مراتبی تشریح و پس از آن، مدل ریاضی مسئله ارائه و تابع هدف و محدودیت های آن بیان می شود.

مدل پوششی HiQ-MCLP مدلی توسعه یافته از مدل MCLP است که با تئوری صف برای حداکثر پوشش ترکیب شده است. در همین راستا، پژوهش [۱۶] به منظور افزودن کیفیت خدمات ارائه شده به مدل از محدودیت کیفیت با استفاده از زمان انتظار مشتری و طول صف همچنین برای استفاده مناسب از هزینه های مکان یابی و ارائه هدفمند خدمات از سلسله مراتب در تسهیلات استفاده کرده است. بنابراین، مدل مزبور در پی کمینه کردن هزینه مکان یابی مراکز خدماتی سطح اول و سطح دوم است در حالی که تقاضای برآورده شده ی هر گره منطقه در فاصله (زمان) مشخص و استاندارد از آن مراکز را بیشینه می کند. از این رو، این مدل بر پوشش حداکثری جمعیت گره های تقاضا و ارائه خدمات به صورت کامل تأکید داشته و همزمان با اعمال محدودیت برای تعداد سرورهای خدمت رسان در مراکز خدماتی، هزینه مکان یابی را حداقل سازی می کند. پوشش کامل جمعیت گره تقاضا به دو شرط بستگی دارد: (۱) شرط تخصیص، و (۲) شرط کیفیت خدمات.

شرط نخست به این نکته اشاره دارد که در صورتی جمعیت پوشش داده می شود که تقاضای مربوط به آن را به مراکز خدماتی

و سرورهای موجود در فاصله (زمان) استاندارد از آن گره تخصیص دهند. سپس با توجه به نوع تقاضا به ترتیب به سرورهای خدمت رسان سطح پایین و سطح بالا اختصاص داده شوند. شرط دوم بیانگر کیفیت خدمات سرورهای اورژانسی است که با تعداد افراد منتظر در صف (b) در مدل سنجش می شود. پس، برای اعمال این محدودیت بیان می شود که احتمال α فرد منتظر در صف باید حداقل α باشد. بنابراین، برای به کارگرفتن این دو شرط در مدل مکان یابی - تخصیص، متغیر تخصیص با فاصله های استاندارد از بیش تعیین شده برای هر نوع سرور و دو محدودیت کیفیت با توجه به طول صف پیش فرض مسئله اعمال می شود.

اشاره به این نکته حائز اهمیت است که کیفیت خدمات تنها از محدودیت طول صف کنترل و سنجیده نمی شود، بلکه می تواند از طریق زمان انتظار هم انجام شود. از آنجاکه براساس تئوری صف، رابطه ای قوی بین این دو عامل وجود دارد، طول صف نماینده ی پذیرفتنی برای زمان انتظار است. در اینجا طول صف به دو دلیل ساده سازی در فرموله کردن مدل و وابسته بودن کیفیت خدمات به تعداد افرادی که به آن دست یافتند، انتخاب شده است [۱۶]. باید این نکته را هم افزود که به کارگرفتن متغیر زمان انتظار - که ممکن است زمان مسافت را هم اضافه کند - شرایط و حالات متفاوتی را در مدل ایجاد می کند. این روش مسئله را به طور غیر ضروری برای مکان یابی تسهیلات پیچیده می سازد. بنابراین، طول صف به جای زمان انتظار در محدودیت کیفیت استفاده شده است تا مدل با اعمال محدودیت کیفیت به هدف مکان یابی بهینه تسهیلات در سیستم اورژانسی دست یابد.

مدل ریاضی اولیه آن را می توان به این شکل ملاحظه کرد:

رابطه (۱) تابع هدف مدل هزینه باز و عملیاتی بودن مراکز خدماتی را کمینه می کند. رابطه (۲) محدودیت مرتبط با شرط تخصیص است که با توجه به پارامترهای فاصله ای تعریف شده در قواعد شرطی محدودیت لحاظ شده است. تخصیص گره تقاضا به مراکز یا سرورهای اورژانسی براساس پارامترهای مربوط به فاصله انجام می شود. هر گره تقاضا تنها یک بار و آن هم به سرورهای موجود که در فاصله استاندارد از آن گره یا به عبارتی در همسایگی از آن قرار گرفته باشند، تخصیص می یابد. فاصله استاندارد در میان گره های شبکه هم برای حد فاصل گره تقاضا و گره مراکز خدماتی و هم میان خود مراکز خدماتی با دو سطوح متفاوت از پیش تعریف شده است. رابطه (۳) و (۴) تأکید می کند که تنها در صورتی تقاضا به مراکز خدماتی ای تخصیص می یابد که آن مراکز باز و حداقل یک سرور در آن جایابی شده باشد. رابطه (۵) و (۶) شرط کیفیت برای ارائه خدمات در مراکز خدماتی است که بیانگر احتمال وجود کمتر از α تعداد در صف انتظار برای هر نوع مراکز خدماتی با حداقل α است.

دو محدودیت (۵) و (۶) مرتبط با کیفیت خدمات در این مدل ریاضی با استفاده از تئوری صف، پارامترهای پایه نرخ تقاضا و نرخ سرویس و ارتباط میان دو پارامتر در رابطه های صف در دو سطح کیفیت خدمات توسعه یافتند. بنابراین، دو محدودیت (۸) و (۹) جایگزین آن دو محدودیت شده و مدل نهایی HiQ-MCLP

$$x_{ijk} \leq W_j + Z_k$$

(۱۳)

مورد مطالعه و یافته‌های محاسباتی

در این بخش از پژوهش شهر بوشهر مورد مطالعه قرار می‌گیرد. در این راستا مدل مکان‌یابی - تخصیص تسهیلات اورژانسی با توجه به توضیحات مدل در حالت‌های متفاوت در بخش پیشین به‌کار گرفته خواهد شد. بوشهر بر اساس آمارهای سال ۱۳۹۰ دارای جمعیتی بالغ بر ۱۹۵۲۲۲ نفر است. شهر به شبکه‌ای از گره‌های تقاضا بخش‌بندی شده که هر یک از گره‌ها دارای پوشش جمعیتی و نرخ تقاضای گوناگون هستند. تراکم جمعیتی، فاصله با خیابان‌های اصلی و در نظر گرفتن شرایطی مانند ترافیک (در ساعات خاصی از شبانه‌روز) معیارهای تعیین‌کننده برای بخش‌بندی مدنظر قرار گرفتند.

افزایش جمعیت نیاز به خدمات را روز به روز افزایش می‌دهد، اما برای ارائه خدمات به جمعیت متقاضی نیاز نیست به‌ازای افزایش آن، تعداد مکان‌ها و دستگاه‌های اورژانسی را در یک شهر افزایش داد؛ زیرا در این وضعیت تنها هزینه تسهیلات خدماتی سنگین می‌شود و تسهیلات نیز کارایی و اثربخشی بالایی نخواهند داشت. بنابراین، می‌باید با برنامه‌ریزی و استفاده از ابزارهای علمی و مدیریتی مانند مدل‌سازی ریاضی برای مکان‌یابی و تخصیص در شرایط متفاوت محیط شهری بهره کامل را جست. بدین منظور در مدل حاضر افزون بر جمعیت از تخمین نرخ تقاضای هر گره و نرخ سرویس هر پایگاه برای تعیین تعداد پایگاه‌ها و سرورهای اورژانسی (آمبولانس) و جایابی آنها استفاده می‌شود. علاوه بر این از ویژگی سلسله‌مراتبی تسهیلات برای چیدمان مناسب پایگاه‌های اورژانسی و همچنین ارائه به موقع خدمات مورد نیاز بهره‌برداری می‌شود. تسهیلات اورژانسی مانند آمبولانس از ۳ نوع متفاوت A، B و C است که قابلیت ارائه خدمات در سطوح متفاوت را دارند. استفاده از تسهیلات متفاوت با وجود چند نوع تقاضا، عملکرد سریع‌تر و موثرتری ارائه می‌دهد.

اکنون بوشهر ۵ ایستگاه آمبولانس دارد که یک پایگاه مرکزی با دو آمبولانس و بقیه ایستگاه‌هایی با ظرفیت یک آمبولانس هستند. اغلب آمبولانس‌های مورد استفاده از نوع A بوده و کمتر از آمبولانس سطح بالاتر استفاده می‌شود. در صورتی که می‌توان با مدل‌های اثربخش از ترکیب مناسبی از آمبولانس در سطوح متفاوت برای چیدمان در شهر استفاده کرد و با این روش به ترکیب مناسب آمبولانس برای پوشش حداکثری تقاضا در شهر و همین‌طور به برنامه‌ریزی برای بودجه بدون صرف هزینه اضافی دست یافت. برای دستیابی به این دو هدف، دو تابع هدف مطرح شده در بخش پیشین یعنی حداکثر پوشش و حداقل هزینه به‌طور همزمان به‌کار گرفته و یک مدل دو هدفه ساخته شد.

بوشهر با توجه به وضعیت جغرافیایی شبه‌جزیره‌ای و وجود مناطق نظامی و اراضی دیگر با توجه به شکل ۱ از ۳ ناحیه جدا از هم اما مرتبط تشکیل می‌شود. هر ۳ ناحیه از پوشش جمعیتی متفاوتی برخوردارند که بر همین اساس، ناحیه ۲ و ۳ با تراکم

به‌دست می‌آید. جزئیات بیشتر در زمینه اثبات و دستیابی به رابطه‌های موجود در دو محدودیت (۸) و (۹) در مرجع [۱۶] به تفصیل بیان شده است. مدل نهایی در اینجا مشخص است:

در این سیستم صف به دلیل تخصیص هر گره تنها به یک سرور، سرورها مستقلند و سیستم M/M/1 دارند. این ترکیب مختص سیستم‌های ارجاعی مطرح شده است که برای سیستم‌های تودرتو و سطوح سلسله‌مراتبی به‌کار گرفته می‌شود [۲۹]. برای مدل ریاضی مورد نظر توابع هدف دیگر مانند حداکثر پوشش هم تعریف می‌شود و در این صورت به مدل حداکثر پوششی با رویکرد تئوری صف تبدیل می‌شود. با تعریف تابع هدف حداکثر پوشش جمعیتی، دیگر این مسئله به برآورد کامل تقاضا نمی‌پردازد و با حداکثر پوشش تقاضای هر گره با توجه به جمعیت گره اختصاص انجام می‌شود. البته پوشش بر اساس نرخ تقاضا و نرخ سرویس تغییر می‌یابد به‌گونه‌ای که در این مسئله با نرخ تقاضای کاهش یا نرخ سرویس افزایشی، درصد پوشش افزایش می‌یابد. بنابراین، با تغییر تابع هدف به حداکثر پوشش، محدودیت اول از حالت قطعی خارج می‌شود و به مدل احتمالی و حداکثر یک برآورد تغییر می‌کند.

$$Max Z = \sum_i \sum_j \sum_k a_i x_{ijk} \quad (10)$$

برخی تسهیلات خدماتی برای اطمینان از سطح پذیرش خدماتی ظرفیت محدودی دارند. تسهیلات اورژانسی مانند آمبولانس از تسهیلاتی هستند که به دلیل استاندارد تعریف شده برای پوشش، تنها توانایی برآوردن بخشی از تقاضا را دارند. بنابراین، ظرفیت مشخص برای سیستم‌های اورژانسی از محدودیت‌های مهم مکان‌یابی است [۱۲]. همچنین در صورت محدودیت برای ایجاد مکان در دو سطح متفاوت، می‌توان از دو محدودیت برای تعیین تعداد مراکز خدماتی استفاده کرد [۲۹، ۱۶] که در این صورت تنها به تعداد مورد نیاز مکان‌یابی انجام می‌شود.

$$\sum_j w_j = p_l \quad (11)$$

$$\sum_k z_k = p_h \quad (12)$$

a_i جمعیت در گره تقاضای i

p_k تعداد مراکز سطح پایین که باید مکان‌یابی شود.

p_h تعداد مراکز سطح بالا که باید مکان‌یابی شود.

بحث دیگر مرتبط با سیستم‌های تو در تو است که در آنها سرورهای سطح بالا خدمات سطح پایین را هم ارائه می‌دهند. بنابراین در این وضعیت از سیستم، محدودیت (۳) به رابطه (۱۳) تغییر پیدا می‌کند [۱۶، ۲۹]:

پارامترها	توضیحات
x_{ijk}	تخصیص دهد، مقدار ۱ و در غیر این صورت k و سپس به سرور سطح بالا در گره j به سرور سطح پایین در مکان i اگر جمعیت گره تقاضای صفر.
w_j	متغیر مکان یابی سرورهای سطح پایین است که اگر سروری در آن جایابی شده باشد، مقدار ۱ و در غیر این صورت مقدار صفر.
z_k	متغیر مکان یابی سرورهای سطح بالاست که اگر سروری در آن جایابی شده باشد، مقدار ۱ و در غیر این صورت مقدار صفر.
C_j	هزینه باز و عملیاتی بودن مراکز خدماتی سطح پایین در گره
K_k	k هزینه باز و عملیاتی بودن مراکز خدماتی سطح پایین در گره
N_i^l	مجموعه‌ای از گره‌های سطح پایین کاندیدای جایابی شده در فاصله استاندارد S_{dl} از گره $\{j \mid d_{ij} \leq S_{dl}\}$
N_i^h	مجموعه‌ای از گره‌های سطح بالا کاندیدای جایابی شده در فاصله استاندارد S_{dh} از گره $\{k \mid d_{ik} \leq S_{dh}\}$
M_j	مجموعه‌ای از گره‌های سطح بالا کاندیدای جایابی شده در فاصله استاندارد S_{lh} از گره $\{k \mid d_{jk} \leq S_{lh}\}$
d_{ij}	زو اکوتاه‌ترین فاصله شبکه بین گره‌های
S_{dl}	فاصله استاندارد از تقاضا به سرور سطح پایین
S_{dh}	فاصله استاندارد از تقاضا به سرور سطح بالا
S_{lh}	فاصله استاندارد از سرور سطح پایین به سرور سطح بالا
b	طول صف که با یک احتمال از پیش تعیین شده نباید بیشتر شود
α	بیشتر شود b احتمال از پیش تعیین شده‌ای که اجازه نمی‌دهد طول صف

دست یافت. این نرم‌افزار از رویکرد شاخه و کران در حل مدل استفاده می‌کند و توانایی آن برای حل مسائل در مقیاس بزرگ به دلیل زمان بر بودن و جست و جوی پاسخ دقیق کم است. بنابراین، برای رسیدن به پاسخ بهینه مدل ریاضی با تعداد گره‌های بیش از ۳۰ باید از نرم‌افزار و الگوریتم‌هایی مانند ژنتیک استفاده کرد که قابلیت پاسخ‌گویی در زمان منطقی و توانایی ارائه پاسخ‌های نزدیک به بهینه را نیز داشته باشند. مدل ریاضی مورد استفاده در این مقاله به دلیل دو محدودیت سخت کیفیت و دو سطحی بودن خدمات که با افزایش هر یک از پایگاه‌های بالقوه تعداد محدودیت‌های مسئله را چند برابر می‌کند، حل مسئله را پیچیده و سخت می‌سازد. بنابراین، تصمیم‌گیرنده بنا بر شرایط خاص مسئله، می‌تواند از هر یک از روش‌ها بهره‌بردار. به همین دلیل، در این مقاله به استفاده از نرم‌افزار Lingo ۱۵ بسنده شده است.

در این نمونه برای تعداد تسهیلات اورژانسی براساس دو رابطه (۱۱) و (۱۲) محدودیت تعریف شد. با توجه به شکل جغرافیایی بوشهر، گره ۱۰ یکی از نقاط میانی بوشهر به حساب می‌آید که به طور تقریبی توانایی ارتباط با ۳ ناحیه مشخص شده در شکل ۱ را دارد و به همین دلیل، برای ارتباط میان گره‌ها اهمیت بیشتری دارد. ارتباط میان گره‌ها و پایگاه‌ها را بر اساس فاصله (زمان) استاندارد طبق جدول ۳ می‌توان در ستون مسیرهای ممکن برای تخصیص دید. در این پژوهش مسیرهای ممکن به یک پارامتر تبدیل شده و محدودیتی را برای انتخاب مسیر تخصیص در مدل ریاضی ایجاد کرده است که بر اساس آن، مسیر تخصیص تنها از مسیرهای ممکن انتخاب می‌شود.

با استفاده از پیش‌فرض‌های تعیین شده، نتایج مسئله مکان‌یابی-تخصیص سلسله‌مراتبی برای بوشهر با نرم‌افزار

جمعیت کمتر هر کدام به یک گره و ناحیه ۱ با پوشش جمعیتی

$$\text{Min } Z = \sum_j C_j w_j + \sum_k K_k z_k \quad (1)$$

$$\sum_{j,k} x_{ijk} = 1 \quad \forall i \text{ with } j \in N_i^l, k \in N_i^h, k \in M_j \quad (2)$$

$$x_{ijk} \leq w_j \quad \forall i, j, k \quad (3)$$

$$x_{ijk} \leq z_k \quad \forall i, j, k \quad (4)$$

$$P[\text{low-level server } j \text{ has } \leq b \text{ people on queue}] \geq \alpha \quad \forall j \quad (5)$$

$$P[\text{high-level server } j \text{ has } \leq b \text{ people on queue}] \geq \alpha \quad \forall k \quad (6)$$

$$x_{ijk}, w_j, z_k = 0, 1 \quad \forall i, j, k \quad (7)$$

متراکم و وضعیت شهری متفاوت با توجه به شکل ۲ به چند گره تقسیم شده است. بنابراین، شهر به ۱۰ گره تقاضا برای پوشش خدمات اورژانسی تفکیک و داده‌های مربوط به تسهیلات و گره‌ها گردآوری و تنظیم شد. مقدار برآوردی پارامترهای مدل در جدول ۲ دیده می‌شود.

مدل ریاضی به‌کارگرفته شده از نوع برنامه‌ریزی خطی و برنامه‌ریزی عدد صحیح PILP است. مدل ریاضی مکان‌یابی-تخصیص سلسله‌مراتبی-با توجه به مدل کوچک مقیاس مورد مطالعه- در نرم‌افزار Lingo ۱۵ با استفاده از یک رایانه شخصی Intel®core™ i3 CPU-M350 @2.27GHz 2.27GHz, 4.00GB RAM, Windows 7 64bit مدل‌سازی و حل شده است. نرم‌افزار در مدت زمان ۰۰/۰۰/۰۲ (۲ ثانیه) به پاسخ بهینه

Lingo ۱۵ را می‌توان در جدول ۳ و ۴ دید. از آنجا که مدل ریاضی ابتدا با تابع هدف هزینه حل و سپس این تابع به محدودیت تبدیل شده، مدل با محدودیت هزینه مواجه بوده است. در نتیجه، هزینه تأثیر مستقیمی بر انتخاب مسیر یا تخصیص ندادن گره به پایگاه‌ها را ندارد. بنابراین، مانعی برای تخصیص ایجاد نکرده و تنها مکان‌یابی در حالت کمترین هزینه انجام شده است. به عبارت دیگر، این مدل با در نظر گرفتن کمینه هزینه به تخصیص گره‌ها با رعایت محدودیت کیفیت و به بهترین صورت ممکن برای شهر مورد مطالعه پرداخته است.

تسهیلات خدماتی یا پایگاه‌های آمبولانس سطح پایین در ۵ مکان و پایگاه‌های سطح بالا در ۳ مکان جایابی شدند. همان‌طور که در جدول ۳ نمایان است، مسئله توانسته است از میان

$$\text{Min } Z = \sum_j C_j w_j + \sum_k K_k z_k \quad (1)$$

$$\sum_{j,k} x_{ijk} = 1 \quad \forall i \quad (2)$$

$$x_{ijk} \leq w_j \quad \forall i, j, k \quad (3)$$

$$x_{ijk} \leq z_k \quad \forall i, j, k \quad (4)$$

$$\sum_{i,k} f_i x_{ijk} \leq \mu_j^{L} \sqrt{b+2} \sqrt{1-\alpha} \quad \forall j \quad (8)$$

$$\sum_{i,j} \beta f_i x_{ijk} \leq \mu_k^H \rho_{ak}^H \quad \forall k \quad (9)$$

$$x_{ijk}, w_j, z_k = 0, 1 \quad \forall i, j, k \quad (7)$$

مسیرهای ممکن بین گره‌ها و پایگاه‌های خدمت‌رسان تنها یک مسیر را انتخاب کند. برای مثال، مدل برای پوشش جمعیتی گره ۴ از میان ۶ مسیر، مسیر ۴-۳-۴ را گزیده است. این پاسخ بدین معناست که جمعیت این منطقه به وسیله پایگاه سطح پایین ۳ و پایگاه سطح بالا ۴ پوشش داده می‌شود. یکی از فرض‌های مسئله این بود که هر گره تنها به یک پایگاه در هر سطح تخصیص داده شود. جدول ۴ تخصیص گره‌ها به پایگاه‌های سطح پایین و سطح بالا را نشان می‌دهد که هر پایگاه جایابی شده به چه گره‌هایی تخصیص یافته است.

با توجه به انتخاب مسیر و پوشش حداکثری گره‌ها، مدل ریاضی توانسته برای مورد مطالعه شهر بوشهر پاسخ بهینه‌ای ارائه دهد. افزون بر این، یافته‌های مدل گواه این است که گره‌های با جمعیت بالا پوشش داده شده و پایگاه‌های بالقوه در نزدیکی آن گره‌ها نیز برای مکان‌یابی پوشش حداکثری انتخاب شده‌اند. با توجه به اهمیت گره ۱۰ به عنوان گره میانی و قابل ارتباط با بخش‌های دیگر شهر به خصوص ناحیه ۳ با پوشش جمعیتی کم، مسئله یکی از پایگاه‌های جایابی شده را در این بخش میانی قرار داده است. با توجه به مورد مطالعه شهر بوشهر، پایگاه‌های بالقوه در ناحیه ۲ و ۳ و مناطق مختلف ناحیه ۱ انتخاب شده بود. در اینجا فرض شد که در صورت انتخاب هر دو سطح پایگاه در یک ناحیه یا خیابان، هر دو می‌توانند در یک مکان قرار گیرند. پس با در نظر گرفتن فرض دیگر مسئله مبنی بر اینکه هر پایگاه ظرفیت یک آمبولانس دارد، پایگاه ایجاد شده دارای دو سطح متفاوت از آمبولانس خواهد بود. در شهر بوشهر دو پایگاه ۱ و ۲ در هر دو سطح در دو نقطه با پوشش جمعیتی بیشتر چنین وضعیتی پیش می‌آورد. در نهایت، پاسخ بهینه مسئله در نقطه‌ای با وضعیت ۵ پایگاه سطح پایین و ۳ پایگاه سطح بالا با ارزش تابع هدف حداکثر

پارامترها	توضیحات
f_i	نرخ ظهور درخواست برای خدمات در گره i
λ_j^L	نرخ ورود درخواست به سرور سطح پایین j
λ_k^H	نرخ ورود درخواست به سرور سطح بالای k
μ_j^L	نرخ سرویس در سرور سطح پایین j
μ_k^H	نرخ سرویس در سرور سطح بالای k
ρ_j^L	λ_j^L / μ_j^L
ρ_k^H	λ_k^H / μ_k^H
β_j	درصدی از درخواست‌های گره i های سطح پایین j که درخواست خدمات سطح بالا را هم دارند.
P_s	احتمال این که سیستم صف در وضعیت s باشد (s سرور در سیستم).



شکل ۲: نقشه ناحیه ۱ بوشهر



شکل ۱: نقشه شهر بوشهر

افزایش تقاضا و شمار افراد در حال انتظار برای دریافت خدمات است و سیستم برای پوشش خدمات بیشتر درگیر می‌شود؛ بنابراین، سطح پوشش در کل سیستم با افزایش تقاضا کاهش می‌یابد.

۳ پارامتر دیگر سطح اطمینان، شمار افراد در صف و ترکیبات متفاوت پایگاه‌ها که در این مقاله برای تحلیل حساسیت انتخاب شده است، به دلیل تنوع زیاد و مرتبط بودن همچنین برای جلوگیری از تکرار به صورت ترکیبی در شکل‌های ۳ تا ۶ نشان داده شده است. برای این بخش از تحلیل حساسیت از سطوح اطمینان ۸۵٪ تا ۹۹٪، سه وضعیت شمار افراد در صف ($b=0, b=1, b=2$) و ۴ ترکیب متفاوت پایگاه‌های سطح پایین و بالا همان‌طور که در شکل ۳ تا ۶ مشخص است، به کار گرفته شده است.

طبق شکل ۳ می‌توان مقدار پوشش را در ۴ سطح اطمینان متفاوت و در ۳ وضعیت شمار افراد در حال انتظار ($b=0, b=1, b=2$) دید. در شکل ۳ مشخص است که افزایش شمار افراد در صف بر میزان حداکثری پوشش جمعیتی می‌افزاید. بدین دلیل است که با پذیرفتن افراد بیشتر در صف، سیستم اورژانسی توانایی پذیرش و پوشش بیشتری از جمعیت را دارد. در همین شکل روشن است که با افزایش سطح اطمینان، میزان بیشینه پوشش در سیستم اورژانسی کاهش می‌یابد. در شکل ۳ نیز بالاترین و بهترین سطح پوشش با ترکیب ۴،۲ (۴ پایگاه سطح پایین و ۲ پایگاه سطح بالا) مربوط به سطح اطمینان ۹۰٪ و در وضعیت $b=1$ است. در

پوشش ۱۸۰ به دست آمده است. با تغییراتی که در مدل ریاضی ایجاد و پاسخ‌های متفاوتی حاصل شد، روشن است که با تکرار این نتیجه یا نتایجی با سطح پوشش کمتر، این پاسخ بهینه مسئله است. بنابراین، ۹۲٪ جمعیت شهر بوشهر در این نقطه پوشش داده شده است.

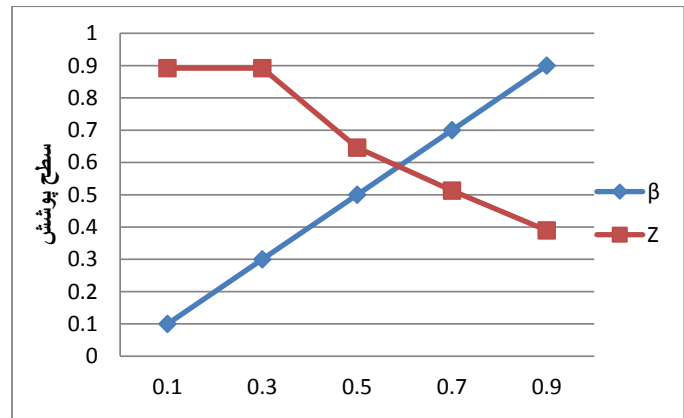
تحلیل حساسیت

در این پژوهش سطوح اطمینان و ظرفیت‌های گوناگون برای دستیابی به حل بهینه لحاظ شد تا در شرایط متفاوت بهترین مقدار تابع هدف حاصل شود. بدین منظور در این بخش به بررسی تأثیر پارامترهای مختلف مسئله در تابع هدف پرداخته می‌شود. در این بخش پارامترهای سطح اطمینان α ، β ، شمار افراد در صف و ترکیبات متفاوت پایگاه در دو سطح خدمات برای سنجش و میزان تأثیرگذاری انتخاب شده‌اند.

ابتدا به تأثیرگذاری درصدی از درخواست‌ها که تقاضای هر دو گونه خدمات را دارند (β) بر سطح پوشش پرداخته می‌شود. با ثابت ماندن پارامترهای دیگر، همان‌طور که در شکل ۲ مشاهده می‌شود، هر چه بر درصد β افزوده شود، حداکثر پوشش جمعیتی به درصد پایین‌تری کاهش می‌یابد. پوشش جمعیت به صورت نسبی در شکل ۲ نمایش داده شده است. افزایش درصد β نشان‌دهنده

پارامتر	مقدار
f	۰/۵
β	۰/۳
μ_j	۶
μ_k	۳
ρ_k	۰/۵
b	-۱-۲
a	٪۹۹-٪۹۵-٪۹۰-٪۸۵
L	۲۵۰ تا ۵۰۰ میلیون (پایگاه‌های متفاوت)
a	۱۹۵ هزار نفر-جمعیت کل شهر

جدول ۲: مقدار پارامترهای مسئله



شکل ۲: تأثیر β بر تابع هدف حداکثر پوشش (در اینجا به صورت درصد پوشش بیان شده است)

پایگاه‌های سطح پایین و بالا و تخصیص آنها به گره‌های تقاضا به دست آمد. کاربرد مدل مزبور این امکان را می‌دهد که با ترکیب و چیدمان مناسب تسهیلات سلسله‌مراتبی در شهر به پوشش حداکثری بدون صرف هزینه‌های اضافی دست یافت. در این پژوهش با استفاده از پارامترهای ترکیبات متفاوت پایگاه‌ها در دو سطح، سطوح اطمینان متفاوت، شمار افراد در صف و درصد تغییرات β برای میزان تأثیرگذاری بر ارزش تابع هدف حداکثر پوشش تحلیل حساسیت انجام شد.

با وجود اهمیت مسئله مکان‌یابی و تخصیص در سیستم‌های خدمات فوریت‌های پزشکی، مسئله مسیریابی فرایند خدمت‌رسانی را به صورت کامل و با بهترین کیفیت عرضه می‌کند. مسئله مسیریابی به انتخاب دقیق مسیر از پایگاه به محل تماس مبادرت کرده و منجر به کاهش زمان انتظار و پاسخ‌گویی سریع می‌شود. استفاده از ماهیت تصادفی، مدل‌سازی را اغلب در شرایط دقیق بررسی و مدل را به واقعیت نزدیک می‌کند. اما برای این که مدل بیشتر به واقعیت نزدیک باشد باید در شرایط فازی مانند برآورد پارامترهای مسئله و محدودیت کیفیت در محیط فازی به مدل‌سازی پرداخت. کاربرد دیگر ماهیت فازی مسئله در این مقاله به انتخاب مسیر برمی‌گردد که مدل تصادفی یک مسیر از مسیره‌های موجود را انتخاب کند یا ممکن است که پایگاهی به برخی گره‌ها اختصاص ندهد. در این حال مدل فازی مسئله کمک می‌کند تا مسیره‌های دیگری با بیان درجه عضویت هر یک از آنها برای گره مطرح شود و هیچ‌یک از گره‌ها بدون تخصیص نمانند. بهبود دیگری که می‌تواند شامل این مقاله شود، استفاده از روش‌های حل و الگوریتم‌های ژنتیک مناسب برای کاربرد در مسائل با ابعاد بزرگ‌تر است.

شکل ۴ میزان تأثیرگذاری هر یک از پارامترها مانند شکل ۳ است. مقدار پوشش با ترکیب ۵،۲ نشان داده شده که بهترین وضعیت در سطح اطمینان ۹۰٪ با $b=1$ قرار دارد و در مقایسه با بهترین وضعیت پیشین در شکل ۳، موقعیت مشابهی دارد. در حالت‌های دیگر مقدار پوشش جمعیتی ممکن است مقدار بیشتری به دست آید، اما با سطح اطمینان کمتر و شمار افراد در حال انتظار بیشتر، از مطلوبیت کمتری برخوردار است. طبق شکل ۵، پوشش با تغییر تعداد پایگاه‌ها به ۵ و ۳ افزایش پیدا می‌کند و به بهترین وضعیت خود در سطح اطمینان ۹۰٪ و $b=1$ با مقدار پوشش ۱۸۰ می‌رسد. اما با تغییر تعداد پایگاه‌های سطح پایین در شکل ۶ تغییر چندانی نسبت به وضعیت قبل حاصل نمی‌شود.

نتیجه‌گیری و پیشنهادها

سیستم خدمات فوریت‌های پزشکی در پی دستیابی به هدف پاسخ‌گویی سریع و باکیفیت از طریق به حداقل رساندن زمان و هزینه به‌همراه حداکثر پوشش جمعیتی و برآورد تقاضا است. مکان‌یابی و تخصیص تسهیلات به دلیل امکان پرداختن همزمان به دو موضوع، یکی از ابزارهای مهم برای دستیابی به اهداف این سیستم است. در این راستا پژوهش حاضر مدل ریاضی مکان‌یابی - تخصیص تسهیلات از نوع مدل پوششی را به‌کار گرفت. این مدل ریاضی برای چیدمان مناسب تسهیلات با توجه به کمینه کردن هزینه و پوشش حداکثری مناطق با مدل‌سازی تسهیلات سلسله‌مراتبی به دلیل اهمیت سرعت پاسخ‌گویی و با تئوری صف برای افزایش کیفیت بر اساس تعداد افراد در حال انتظار در سیستم‌های خدمات فوریت‌های پزشکی ترکیب شده است. در پژوهش حاضر مدل‌سازی برای مکان‌یابی-تخصیص تسهیلات سلسله‌مراتبی به صورت مدل چندهدفه برای استفاده در سیستم‌های خدمات فوریت‌های پزشکی برای کمینه کردن هزینه و بیشینه کردن پوشش به‌کارگرفته و برای پایگاه‌های آمبولانس شهر بوشهر در دو سطح پیاده‌سازی شد. بدین منظور، مسیره‌های ممکن از طریق فاصله و امکان ارتباط میان گره‌ها مشخص و با استفاده از نرم‌افزار Lingo ۱۵ پاسخ بهینه برای مکان‌یابی

مسیر انتخابی	مسیرهای ممکن	گره
۱-۱-۱	۴-۷-۱/۱-۷-۱/۴-۳-۱/۱-۳-۱/۴-۱-۱/۱-۱-۱	۱
۲-۲-۲	۴-۷-۲/۲-۷-۲/۴-۶-۲/۲-۶-۲/۴-۲-۲/۲-۲-۲	۲
-	۱-۵-۳/۴-۳-۳/۱-۳-۳/۴-۱-۳/۱-۱-۳	۳
۴-۳-۴	۴-۷-۴/۱-۷-۴/۴-۳-۴/۱-۳-۴/۴-۱-۴/۱-۱-۴	۴
۱-۷-۵	۴-۷-۵/۱-۷-۵/۴-۵-۱/۵-۵/۴-۳-۵/۱-۳-۵/۴-۱-۵/۱-۱-۵	۵
۴-۵-۶	۴-۷-۶/۱-۷-۶/۴-۵-۶/۱-۵-۶/۴-۳-۶/۱-۳-۶/۴-۱-۶/۱-۱-۶	۶
۱-۵-۷	۴-۵-۷/۱-۵-۷/۴-۳-۷/۱-۳-۷/۴-۱-۷/۱-۱-۷	۷
۴-۳-۸	۴-۷-۸/۱-۷-۸/۴-۳-۸/۱-۳-۸/۴-۱-۸/۱-۱-۸	۸
۲-۷-۹	۴-۷-۹/۲-۷-۹/۴-۲-۹/۲-۲-۹	۹
۲-۱-۱۰	۱۰/۲-۳-۱۰/۱-۳-۱۰/۴-۲-۱۰/۳-۲-۱۰/۲-۲-۱۰/۱-۲-۱۰/۴-۱-۱۰/۳-۱-۱۰/۲-۱-۱۰/۱-۱-۱۰ ۱۰/۴-۵-۱۰/۳-۵-۱۰/۲-۵-۱۰/۱-۵-۱۰/۴-۱-۱۰/۳-۴-۱۰/۲-۴-۱۰/۱-۴-۱۰/۴-۳-۱۰/۳-۳-۱۰ ۴-۷-۱۰/۳-۷-۱۰/۲-۷-۱۰/۱-۷-۱۰/۱-۷-۱۰/۴-۶-۱۰/۳-۶-۱۰/۲-۶-۱۰/۱-۶-۱۰	۱۰

جدول ۳: پاسخ بهینه مدل مکان یابی-تخصیص سلسله مراتبی

تخصیص گره‌های تقاضا به پایگاه‌های سطح پایین										i	j
۱۰	۹	۸	۷	۶	۵	۴	۳	۲	۱		
۱	-	-	-	-	-	-	-	-	۱	۱	۱
-	-	-	-	-	-	-	-	۱	-	۲	۲
-	-	۱	-	-	-	۱	-	-	-	۳	۳
-	-	-	۱	۱	-	-	-	-	-	۵	۵
-	۱	-	-	-	۱	-	-	-	-	۷	۷
تخصیص گره‌های تقاضا به پایگاه‌های سطح بالا										k	
-	-	-	۱	-	۱	-	-	-	۱	۱	۱
۱	-	-	-	-	-	-	-	۱	-	۲	۲
-	-	۱	-	۱	-	۱	-	-	-	۴	۴

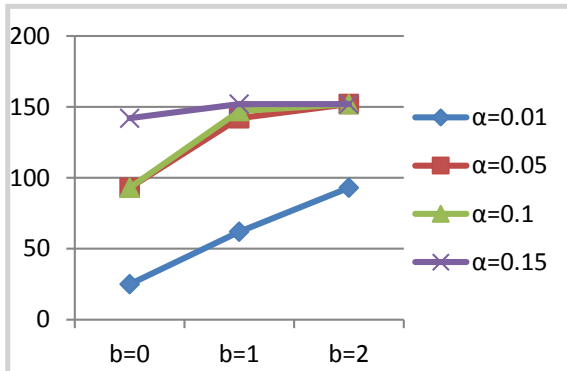
جدول ۴: تخصیص گره‌ها به پایگاه‌های سطح پایین و بالا

منابع

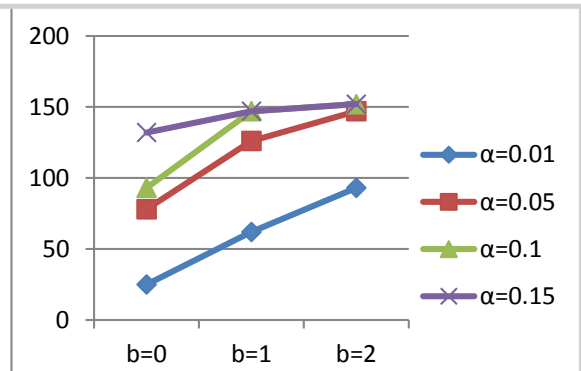
- [۱] ملک، م. ر.، پیله‌فروش‌ها، پ. (۱۳۹۳). مقایسه‌ی دو روش تهیه‌ی نقشه‌ی آسیب‌پذیری زمین‌لرزه تحت شرایط عدم قطعیت مبتنی بر منطق فازی کلاسیک و منطق فازی شهودی. دو فصلنامه علمی پژوهشی مدیریت بحران، (۶)، ۳، ۵-۱۳.
- [2] Wen, M. & Iwamura, K. (2008). Facility location-allocation problem in random fuzzy environment: Using (a, k)-cost minimization model under the Hurewicz criterion. *Computers and Mathematics with Applications*, 55, 704-713.
- [۳] امیری، م.، خاتمی فیروزآبادی، س. م.، ع. و مبین، م. ص. (۱۳۹۱). تخصیص ایستگاه‌های امداد جاده‌ای با استفاده از مدل صف هایپرکوب در طول بزرگراه تهران-قم. چشم‌انداز مدیریت صنعتی، ۷، ۴۵-۷۰.
- [4] Vidyarthi, N. & Jayaswal, S. (2014). Efficient Solution of a Class of Location-Allocation Problems with Stochastic Demand and Congestion. *Computers & Operations Research*, 48, 20-30.

پی‌نوشت‌ها

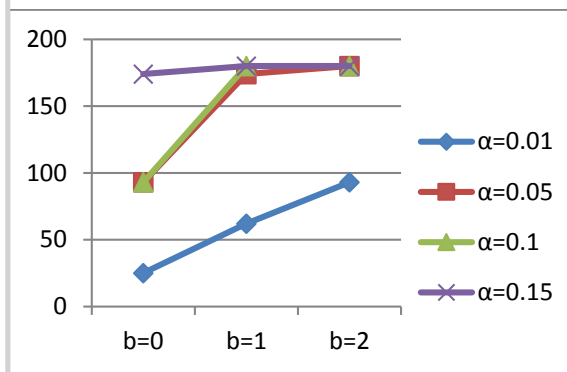
- Emergency Medical System
- Hierarchical Queuing-Maximal Covering Location Problem
- Location Set Covering Model
- Maximal Covering Location Problem
- Maximal Expected Covering Location Model
- Hierarchical Covering Location Problem



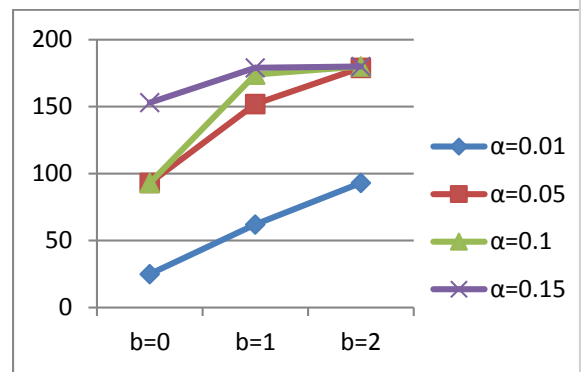
شکل ۴: نمودار مقایسه‌ای پوشش با ترکیب ۵ پایگاه سطح پایین و ۲ پایگاه سطح بالا در سطوح اطمینان متفاوت



شکل ۳: نمودار مقایسه‌ای پوشش با ترکیب ۴ پایگاه سطح پایین و ۲ پایگاه سطح بالا در سطوح اطمینان متفاوت



شکل ۶: نمودار مقایسه‌ای پوشش با ترکیب ۶ پایگاه سطح پایین و ۳ پایگاه سطح بالا در سطوح اطمینان متفاوت



شکل ۵: نمودار مقایسه‌ای پوشش با ترکیب ۵ پایگاه سطح پایین و ۳ پایگاه سطح بالا در سطوح اطمینان متفاوت

12. [12] Yin, P. & Mu, L. (2012). Modular capacitated maximal covering location problem for the optimal siting of emergency vehicles. *Applied Geography*, 34, 247-254.
13. [13] J.Ratick, S., P.Osleeb, J. & Hozumi, D. (2009). Application and extension of the Moore and ReVelle hierarchical maximal covering model. *Socio-Economic Planning Sciences*, 43, 92-101.
14. [14] Syam, S. (2008). A multiple Server Location-Allocation Model for Service System Design. *Computers & Operations Research*, 35, 2248-2265.
15. [15] Mandell, M. B. (1998). Covering models for two-tiered emergency medical services systems. *Location Science*, 6 (1), 355-368.
16. [16] Marianov, V. & Serra, D. (2001). Hierarchical location-allocation models for congested systems. *European Journal of Operational Research*, 135(1), 195-208.
17. [17] Galvao, R.D., Espejo, L.G.A. & Boffey, T.B. (2002). A hierarchical model for the location of perinatal facilities in the Municipality of Rio de Janeiro. *European Journal of Operational Research*, 138, 495-517.
18. [18] Galvao, R.D., Espejo, L.G.A., Boffey, B. & Yates, D. (2006). Load balancing and capacity constraints
5. [5] Araz, C., Selim, H. & Ozkarahan, I. (2007). A fuzzy multi-objective covering-based vehicle location model for emergency services. *Computers & Operations Research*, 34, 705-726.
6. [6] Toro-Díaz, H., E. Mayorga, M., Chanta, S. & A. McLay, L. (2013). Joint location and dispatching decisions for Emergency Medical Services. *Computers & Industrial Engineering*, 64, 917-928.
7. [7] Goldberg, J. B. (2004). Operations research models for the deployment of emergency services vehicles. *EMS Management Journal*, 1(1), 20-39.
8. [8] Larson, C.R. (1974). A hypercube queuing model for facility location and redistricting in urban emergency services, *Computers & Operations Research*, 1, 67-95.
9. [9] Farahani, R. Z., Asgari, N., Heidari, N., Hosseininia, M. & Goh, M. (2012). Covering problems in facility location: A review. *Computers and Industrial Engineering*, 62, 368-407.
10. [10] Toregas, C., Swain, R., ReVelle, C. & Bergman, L. (1971). The location of emergency service facilities. *Operations Research*, 19, 1363-1373.
11. [11] Church, R., & ReVelle, C. (1974). The maximal covering location problem. *Paper of the Regional Science Association*, 32, 101-118.

- in a hierarchical location model. *European Journal of Operational Research*, 172, 631-646.
19. [19] Eben-Chaime, M., Mehrez, A. & Markovich, G. (2002). Capacitated location-allocation problems on a line. *Computers & Operations Research*, 29, 459-470.
 20. [20] Teixeira, J.C. & Antunes, A. P. (2008). A hierarchical location model for public facility planning. *European Journal of Operational Research*, 185 (1), 92-104.
 21. [21] Barros, A.I., Dekker R. & Scholten, V. (1998). A two-level network for recycling sand: a case study. *European Journal of Operational Research*, 110 (3), 199-214.
 22. [22] Sahin, G. & Sural, H. (2007). A review of hierarchical facility location models. *Computers & Operations Research*, 34 (8), 2310-2331.
 23. [23] Boffey, T.B., Yates, D.F. & Galvao, R.D. (2003). An algorithm to locate perinatal facilities in the Municipality of Rio de Janeiro. *Journal of the Operational Research Society*, 54, 21-31.
 24. [24] Gao, L. & Robinson Jr, E. P. (1992). A Dual-Based Optimization Procedure for the Two-Echelon Uncapacitated Facility Location Problem. *Naval Research Logistic*, 39, 191-212.
 25. [25] Daskin, M. S. (1995). Network and discrete location: Models, algorithms, and applications. *New York: Wiley-Interscience*.
 26. [26] Narula, S. C. (1984). Hierarchical location-allocation problems: A classification scheme. *European Journal of Operational Research*, 15 (1), 93-99.
 27. [27] Daskin, M. S. (1983). A maximum expected covering location model: Formulation, properties, and heuristic solution. *Transportation Science*, 17, 48-70.
 28. [28] Moore, G.C. & ReVelle, C. (1982). The hierarchical service location problem. *Management Science*, 28 (7), 775-780.
 29. [29] Shavandi, H. & Mahlooji, H. (2006). A Fuzzy Queuing Location Model with a Genetic Algorithm for Congested Systems. *Applied Mathematics and Computation*, 181, 440-456.

۶۸

شماره هفتم

بهار و تابستان

۱۳۹۴

دوفصلنامه
علمی و پژوهشی



مکان بانی-تخصیص سلسله مراتبی
برای خدمات فوریت های پزشکی