چشم‌انداز مدیریت صنعتی
شماره ۷ ـ پائیز ۱۳۹۱
ص‌ص ۷۰ -۴۵

تخصیص ایستگاه‌های امداد جاده‌ای بااستفاده از مدل صف هایپرکیوب در طول بزرگراه تهران - قم

مقصود امیری*، سید محمدعلی خاتمی‌فیروزآبادی، محمدصادق مبین*****

چکیده

موضوع تخصیص و مکان‌یابی ایستگاه‌های امداد جاده‌ای، به‌دلیل داشتن تأثیرات زیادی که بر نحوهٔ خدمت‌دهی به مصدومین جاده‌ای دارد، مورد توجه محققان زیادی قرار گرفته است. در این‌گونه مسائل، هدف اصلی تحقیق، مکان‌یابی بهینهٔ ایستگاه‌های امداد جاده‌ای و تقسیم‌بندی نواحی تحت خدمت، برای تخصیص مناسب آنها به خدمت دهنده‌ها است. این مسائل از این‌رو دارای اهمیت هستند که معیارهای عملکردی سیستم از جمله مدت زمان انتظار مشتری را بهبود داده و می‌توانند منجر به نجات جان یک مصدوم شوند. در این تحقیق تخصیص ایستگاه‌های امداد جاده‌ای بزرگراه تهران قم (محدودهٔ تهران)، با استفاده از مدل صف هایپرکیوب که یکی از معروف‌ترین مدل‌های صف در زمینهٔ مکان‌یابی است، مورد بررسی و تجزیه و تحلیل قرار گرفته است. بدین منظور، پس‌از تعیین تعداد حالات سیستم، معادلات تعادلی هر حالت سیستم با استفاده از نمودار آهنگ استخراج گردیده است. سپس با استفاده از احتمالات حدی بدست آمده معیارهای عملکردی سیستم، از جمله میزان بار کاری هر خدمت‌دهنده، مدت زمان انتظار مشتری برای دریافت خدمت و ... محاسبه شده و با تغییر پیشنهادی قابل اجرا در عمل، در اندازهٔ نواحی تخصیص داده شده به هر خدمت‌دهنده، معیارهای عملکردی سیستم بهبود داده شده‌اند.

کلیدواژه‌ها: تخصیص؛ مکان‌یابی؛ مدل صف هایپرکیوب؛ سیستم خدمات اورژانسی؛ خدمت‌دهندهٔ متحرک.

Archive of SID

تاریخ دریافت مقاله: ۹۰/۰۹/۱۵، تاریخ پذیرش مقاله: ۹۱/۰۱/۳۰.

* دانشیار، دانشگاه علامه طباطبائی.
** استادیار، دانشگاه علامه طباطبائی،
*** کارشناس ارشد، دانشگاه علامه طباطبائی (نویسنده مسئول).
E-mail: mobin.sadegh@gmail.com

www.SID.ir

۱. مقدمه

"تجهیزات" به‌تنهایی می‌توانند، برای هر سازمان سرمایه‌های زیادی را هزینهٔ یا ذخیره کنند. به‌خصوص اگر مسئلهٔ چیدمان تسهیلات مربوط به سازمان‌هایی باشد که خدمات اورژانسی را به مشتریان خود و برای نجات جان آنها ارائه می‌دهند، این هزینه‌ها نسبت به سازمان‌های تولیدی و یا خدماتی دیگر، بسیار گرانبهاتر می‌باشند. هدف اغلب طراحی‌های چیدمان تجهیزات به‌منظور سرویس‌دهی، متوازن نمودن هزینه‌های ظرفیت سرویس‌دهی در برابر هزینه‌های کیفیت سرویس‌دهی می‌باشد. معیار سنجش این‌گونه مسائل، احتمال ارائهٔ سرویس به تعداد مشخصی مشتری در طی زمان محدود، تعداد مشتریان درون سیستم، تعداد مشتریان درون صف و متوسط زمان انتظار مشتری و زمان خدمت‌دهی به او می‌باشد.

در سیستم‌های خدمت‌رسانی اورژانسی، آنچه بیشتر برای سازمان و مشتری مهم است، مدت زمان رسیدن خدمت‌دهنده به مشتری در هنگام وقوع حادثه و کیفیت خدمات ارائه‌شده به او می‌باشد. کاهش این زمان، می‌تواند منجر به نجات جان یک انسان حادثه‌دیده گردد. لذا مسئلهٔ چیدمان آمبولانس‌ها، به‌گونه‌ای که معیارهای ارزیابی عملکردی سیستم، از جمله مدت زمان انتظار مشتری را کاهش دهد، بسیار حائز اهمیت و حیاتی می‌باشد.

در این تحقیق با درنظر گرفتن مفروضاتی، سعی در تخصیص مراکز خدمت‌دهی خدمات اورژانسی داشته، بطوری‌که معیارهای عملکرد سیستم به‌عنوان یک سیستم صف، از جمله: بار کاری هر آمبولانس، میانگین زمان سفر هر آمبولانس و ... که با استفاده از فرمول‌های مدل صف هایپرکیوب محاسبه می‌شوند، به توازن برسد. درواقع با درنظر گرفتن وضعیت فعلی سیستم، معیارهای عملکردی سیستم محاسبه شده و با تغییرات پیشنهادی و محاسبهٔ معیارهای عملکردی الگوی پیشنهادی، حالت بهینه‌تر برای تخصیص ایستگاه‌های امداد جاده‌ای در طول بزرگراه تهران ـ قم، ارائه گردد.

بیان مسئله. به‌طور کلی مسائل مکان‌یابی مراکز سرویس‌دهی از لحاظ نوع سرویس ارائه شده به مسائل طراحی سیستم سرویس عمومی[1] و طراحی سیستم سرویس اورژانسی[2] تقسیم می‌شوند. در مسائل نوع اول، نکتهٔ کلیدی ظرفیت سرویس تسهیلات برای سرویس به تقاضاهای ورودی است که محدودیت اورژانسی ندارد، درحالی که در مسائل نوع دوم بیشتر تمرکز بر روی قابلیت واحدهای سرویس‌دهی برای حرکت سریع به‌سمت مکان‌های تقاضای اورژانسی است [۲۸]. مدل مسئله این تحقیق، در رابطه با طراحی سرویس اورژانسی می‌باشد.

1. General Service Design Problem (GSDP)
2. Emergency Service Design Problem (ESDP)

Archive of SID

www.SID.ir

مدل‌های مکان‌یابی را از نظر ماهیت مدل می‌توان به دو دستهٔ کلی مدل‌های تحلیلی[1] و مدل‌های توصیفی[2] تقسیم‌بندی کرد. مدل‌های تحلیلی در واقع به‌طور صریح بیان می‌کنند که برای رسیدن به هدف مسئله باید چه تغییرات و تنظیماتی در پارامترهای ورودی مسئله انجام داد. مدل‌های بهینه‌سازی از جمله مدل‌های تحلیلی به شمار می‌روند. درمقابل، مدل‌های توصیفی به توصیف ویژگی‌های مسئله و بیان آنها به‌شکلی که هستند می‌پردازند، یعنی راهکاری را برای رسیدن به هدف مسئله ارائه نمی‌دهند، بلکه فقط ویژگی‌های مسئله (مانند معیارهای عملکردی سیستم) را توصیف می‌کنند. مدل‌های مبتنی بر شبیه‌سازی و مدل‌های مکان‌یابی با استفاده از تئوری‌صف در زمرهٔ مدل‌های توصیفی قرار دارند [۸]. مدل مسئلهٔ حاضر از نظر ماهیت مدل، مدل تحلیلی می‌باشد. درواقع بیان می‌شود که برای رسیدن به حالت بهتر سیستم، چه تغییرات و تنظیماتی می‌بایست در پارامترهای ورودی مسئله اتفاق بیفتد. همچنین به‌دلیل اینکه در این تحقیق به توصیف ویژگی‌های مسئله پرداخته و از تئوری صف در مکان‌یابی استفاده می‌شود، می‌توان آن‌را در زمرهٔ مدل‌های توصیفی قرار داد.

مدل‌های مکان‌یابی را می‌توان از نظر نوع پارامترهای مسئله به مدل‌های قطعی و غیرقطعی تقسیم‌بندی کرد. در مدل‌های قطعی تمام پارامترهای مسئله با قطعیت معلوم می‌باشند، درحالی که پارامترهای مدل‌های غیرقطعی دارای نوعی عدم قطعیت می‌باشند. مدل‌های غیرقطعی را بسته به نوع عدم قطعیتی که در آنها نهادینه شده است می‌توان به مدل‌های با پارامترهای احتمالی و فازی تقسیم‌بندی کرد [۲۶]. نخستین مدل‌ها در زمینهٔ مکان‌یابی تسهیلات با امکان ایجاد ازدحام جنبهٔ قطعی داشته و لذا احتمال مشغول بودن خدمت دهنده‌ها را هنگام نیاز در بر نمی‌گرفتند. بنابراین تعداد تسهیلات (خدمت‌دهنده‌ها) بدست آمده از این مدل‌ها کمتر از تعداد مورد نیاز در دنیای واقعی می‌باشد. علیرغم این مدل‌ها، مدل‌های احتمالی امکان مشغول بودن هریک از خدمت‌دهنده‌ها هنگام نیاز (و درنتیجه ایجاد ازدحام) را درنظر می‌گیرند. در این‌گونه مدل‌ها عدم‌قطعیت موجود توسط تئوری صف و یا با استفاده از شبیه‌سازی بیان می‌شود و یا اینکه پارامترهای احتمالی و متغیرهای تصادفی وارد مدل برنامه‌ریزی ریاضی می‌شود [۲۴]. مدل مسئله حاضر از نوع پارامترهای آن، دارای پارامترهای غیرقطعی از نوع احتمالی می‌باشد، چرا که احتمال مشغول بودن خدمت‌دهنده‌ها را هنگام نیاز و درنتیجه ایجاد ازدحام را در بر می‌گیرد. در این مسئله عدم قطعیت موجود، توسط تئوری صف مطرح می‌شود.

در بحث مکان‌یابی تسهیلات در شرایط تقاضای تصادفی و ازدحام دو جریان مطالعه وجود دارد، دستهٔ اول مدل‌های نوع پوششی[3] و دستهٔ دوم مدل‌های نوع میانه[4] هستند. مدل‌های

1. Analytic
2. Descriptive
3. Covering-Type Model
4. Median-Type Models

Archive of SID

www.SID.ir

پوششی بیشتر در رابطه با ارائهٔ پوشش کافی برای مشتریان بوده و روی کاهش هزینه‌های مرتبط با سفر که بیشتر مورد توجه مدل‌های نوع میانه هستند، کاری ندارند [۳]. با توجه به شرایط تقاضا و ایجاد ازدحام، مدل مسئله حاضر از نوع مدل‌های میانه می‌باشد، چرا که پارامترهای ارزیابی سیستم را بهبود می‌دهند. از جملهٔ این پارامترها، مدت زمان خدمت‌دهی می‌باشد که خود نوعی هزینه است.

مدل‌های مکانیابی را می‌توان از نظر نحوهٔ استقرار خدمت‌دهنده‌ها دسته‌بندی کرد. در دستهٔ اول خدمت‌دهنده‌ها برای ارائهٔ خدمت به مشتریان مراجعه می‌کنند. این دسته از مسائل به مسائل مکان‌یابی با خدمت‌دهندهٔ متحرک معروف می‌باشند[۲۳]. درنوع دیگری از مسایل مکان‌یابی که با استفاده از تئوری صف فرموله می‌شوند، خدمت‌دهنده‌ها، برعکس حالت فوق، در محل ثابتی مستقر می‌شوند و مشتریان برای دریافت خدمت به آنها مراجعه می‌کنند(خدمت‌دهندهٔ ثابت یا غیرمتحرک). تفاوت‌های اساسی مابین این دو مدل وجود دارد. برای سرور متحرک زمان سفر قسمتی از زمان ارائهٔ خدمت درنظر گرفته می‌شود و از نقطه‌نظر صف مدل‌های پیچیده‌تری هستند[۳]. بنابراین مدل مسئلهٔ موجود در این تحقیق، از نظر نحوهٔ استقرار خدمت‌دهنده‌ها در زمرهٔ مسائل مکان‌یابی با خدمت‌دهندهٔ متحرک قرار می‌گیرد. در این حالت، بیشتر ارائهٔ سرویس در مدت زمان مشخص مدّنظر است و حداکثر کردن مشتری جذب شده را مدّ نظر قرار نمی‌دهد.

مدل‌های مکان‌یابی- صف را می‌توان برحسب نوع خروجی آنها نیز دسته‌بندی کرد. در دسته‌ای از این مدل‌ها خروجی همان تعیین مکان تسهیلات می‌باشد. ولی در دستهٔ دیگر خروجی مدل تقسیم‌بندی کل ناحیه پاسخگویی به زیرناحیه‌ها و تخصیص هر یک از این زیرناحیه‌ها به تسهیلات مستقر شده می‌باشد. دستهٔ اول مسایل مکان‌یابی[1] و دستهٔ دوم مسایل تقسیم‌بندی ناحیه[2] می‌باشند [۱۳]. مدل مسئلهٔ پیش رو، از نظر خروجی‌های مسئله، در زمرهٔ مدل‌های ناحیه-بندی (تقسیم‌بندی) قرار می‌گیرد و خروجی مدل تقسیم‌بندی کل ناحیه پاسخگویی به زیرناحیه‌ها و تخصیص هر یک از این زیرناحیه‌ها به تسهیلات مستقر شده می‌باشد.

اهمیت و ضرورت تحقیق. انتظار در صف هرچند بسی ناخوشایند است، اما متأسفانه بخشی از واقعیت اجتناب‌ناپذیر زندگی را تشکیل می‌دهد. انسان‌ها در زندگی روزمرهٔ خود با انواع مختلف صف، که به از بین رفتن وقت، نیرو و سرمایهٔ آنها می‌انجامد روبه‌رو می‌شوند، از جمله صف‌های اتوبوس، خرید، بانک‌ها و نظایر آن‌ها. در جوامع امروزی، صف‌های مهم‌تری وجود دارد، که هزینه‌های اقتصادی و اجتماعی آن‌ها به‌مراتب بیش از نمونه‌های سادهٔ فوق است. از آن جمله

1. Location Problem
2. Districting problem

Archive of SID

www.SID.ir

می‌توان به صف‌های انتظار برای دریافت خدمات پزشکی و نظیر آن اشاره کرد که انتظار در آن‌ها ممکن است باعث مرگ یک انسان شود [۱].

در طراحی شبکه‌های خدمت‌رسانی از قبیل مراکز درمانی، تسهیلات آتش‌نشانی، ایستگاه‌های پلیس و غیره مکان تسهیلات خدمت‌رسانی و تخصیص تقاضاها به خدمت‌دهنده‌ها به‌طور چشمگیری در ایجاد ازدحام (سطح‌خدمت) در سیستم مؤثر است [۲۷]. تاکنون مدل‌های زیادی برای دست‌یابی به بالاترین سطح خدمت (کمترین ازدحام در سیستم) توسعه یافته‌اند. در این میان مدل‌هایی که مؤلفه‌های غیرقطعی سیستم‌های مورد مطالعه را در بر می‌گیرند، به‌دلیل انطباق بیشتر با مسائل دنیای واقعی، حائز اهمیت دوچندان می‌باشند [۹].

وجود عناصر عدم قطعیت در زمان، موقعیت و میزان خدمات مورد نیاز و وجود مناطق دارای ازدحام در سیستم‌های خدمات پزشکی اورژانسی، منجر به ایجاد عدم قطعیت در خدمات مورد نیاز و منابع محدود خدمت‌دهی می‌شوند [۲]. مدیران باید در زمان طراحی و بهبود این‌گونه سیستم‌ها، عواید بهبود خدمت‌دهنده‌ها را همزمان با سرمایه‌گذاری در آن‌ها، متعادل نمایند. مشخصاً، یکی از مهم‌ترین اجزاء در سیستم‌های خدمات پزشکی اورژانسی، میانگین زمان پاسخگویی سیستم در یک تماس تلفنی اورژانسی است و مدت زمان آن، ممکن است به نجات و یا مرگ یک انسان منجر شود [۲۲].

هدف‌های تحقیق و نتایج مورد انتظار. هدف اصلی این تحقیق، تعیین حالت بهینه‌تر برای تخصیص ایستگاه‌های امداد جاده‌ای موجود در طول بزرگراه تهران ـ قم (محدودهٔ تهران) می‌باشد، به‌نحوی که معیارهای عملکردی سیستم بهبود یابند. در راستای رسیدن به این هدف، در ابتدا وضعیت فعلی سیستم خدمات اورژانسی درطول بزرگراه تهران ـ قم ارزیابی می‌شود. بدین منظور، زمان ورود بین هر تقاضا برای هر ایستگاه و همچنین مدت زمان خدمت‌دهی برای هر تقاضا بدست آمده و توزیع آماری هر یک از این زمان‌ها تعیین می‌گردند. همچنین میزان بار کاری هر ایستگاه با فرض اینکه سیستم در بلندمدت به پایداری می‌رسد، محاسبه می‌شود. پس‌از آن با تغییر اندازهٔ هر یک از نواحی دریافت‌کنندهٔ خدمت، پیکره‌بندی سیستم به‌گونه‌ای تغییر می‌یابد که بار کاری هر ایستگاه به توازن برسد. همچنین معیارهای عملکردی سیستم پس از اعمال این تغییرات محاسبه شده و نحوهٔ رفتار سیستم در مقابل افزایش میزان تقاضا بررسی می‌گردد. نتیجهٔ مورد انتظار تحقیق تخصیص ایستگاه‌های موجود به ناحیه‌ها می‌باشد به‌طوری‌که با ایجاد توازن در بار کاری هر ایستگاه، معیارهای عملکردی سیستم بهبود یابند.

Archive of SID

www.SID.ir

۲. مبانی و چارچوب نظری تحقیق

مروری بر تحقیقات پیشین. نتیجه بررسی پیشینهٔ تحقیقات صورت گرفته در زمینهٔ کاربرد مدل صف هایپرکیوب در مکان‌یابی تسهیلات، به‌صورت خلاصه در ادامه ارائه شده است. مقالات با توجه به سال نگارش از قدیمی‌ترین به جدیدترین مرتب شده‌اند. در هر مقاله، سعی شده است که هدف اصلی، فرضیات مدل، روش حل آن، مزیت و وجه تمایز هر مقاله نسبت به مقالات قبلی بیان شود.

مهم‌ترین مدل صف که برای مکان‌یابی تسهیلات استفاده شده است، مدل هایپرکیوب می‌باشد. این مدل توسط لارسن (۱۹۷۴) در مؤسسهٔ تکنولوژی ماساچوست طی پروژه‌ای برای مکان‌یابی تسهیلات خدمت‌رسانی اورژانس شهری نیویورک ابداع شد. مدل صفM/M/N درنظر گرفته شده و تخصیص خدمت‌دهنده‌ها با توجه به لیست اولویت برای هر ناحیه بوده است. روش حل مسئله، حل دستگاه معادلات خطی احتمالات حالت پایدار سیستم بوده و جواب دقیق حاصل شده است [۱۹]. لارسن در سال ۱۹۷۵، معیارهای عملکرد سیستم اورژانس شهری را تقریب زد. روش حل این مسئله نیز مانند مسئلهٔ قبل بوده، با این تفاوت که جواب تقریبی حاصل شده است. این مسئله برای سیستم‌های بزرگ نیز قابل حل می‌باشد [۲۰]. گلدبرگ و سیداروسوکی (۱۹۹۱)، دو روش تکراری نقطهٔ ثابت[1] برای حل معادلات غیرخطی به‌کار رفته در ارزیابی احتمال مشغول بودن آمبولانس‌ها ارائه دادند. در مدل آنها زمان سفر جزئی از زمان خدمت‌دهی درنظر گرفته شده است [۱۴]. بورول و همکاران (۱۹۹۲)، از مدل هایپرکیوب برای مکان‌یابی سیستم‌های خدمات اورژانسی استفاده کردند. آن‌ها مسئله را در یک ناحیهٔ دو بعدی (و نه در طول یک بزرگراه) درنظر گرفته و با حل معادلات خطی تعادلی سیستم، مدل را حل نمودند. از مزایای این مدل، امکان درنظر گرفتن چندنوع مشتری، قابلیت متفاوت خدمت‌دهنده‌ها و انتخاب خدمت-دهنده‌ها توسط مشتریان می‌باشد[۵].

چیوشی و همکاران (۲۰۰۲)، عملکرد سه مدل MEXCLP[2] ، AMEXCLP[3] و مدل هایپرکیوب و همچنین تابع هدف‌های مختلف سه مدل را با هم مقایسه نموده و بیان داشتند که در مدل‌های اول و دوم نمی‌توان تقاضاهای موجود در صف را درنظر گرفت. همچنین روش حل دستگاه معادلات خطی حالت پایدار سیستم را برای حل مدل هایپرکیوب، و روش شاخه و کران را برای حل دو مدل دیگر ارائه دادند [۶]. نیکولاس و همکاران (۲۰۰۴)، با هدف حداقل کردن میانگین زمان پاسخ‌دهی به مشتریان، مکان سرورهای خدمات اورژانس را بهینه کرده و چندین نوع سرور، با نرخ خدمت‌دهی متفاوت را منظور نمودند. مدل صف هایپرکیوب تصادفی ارائه شده،

1. Iterative Fixed Point Methods
2. Maximum Expected Covering Location Problem
3. Adjusted Maximum Expected Covering Location Problem

Archive of SID

www.SID.ir

مسئلهٔ ناحیه‌بندی و مکان‌یابی سرورها را با هم درنظر گرفته و مکان بهینه را با تحلیل هزینهٔ زمان پاسخ‌دهی و پوشش سرورها تعیین می‌کند [۱۱].

برمن و اسودوا (۲۰۰۵)، با یک روش تقریبی، معیارهای عمکرد سیستم‌های خدمات عمومی با خدمت‌دهندگان سیار را محاسبه نموده و زمان سفر خدمت‌دهنده‌ها را جزئی از زمان سرویس درنظر گرفتند، لذا توزیع زمان سرویس در این روش یک توزیع عمومی می‌باشد. روش حل این مدل با استفاده از حل معادلات حدی سیستم بدست آمده از مدل صف هایپرکیوب (M/G/1) می‌باشد. در این مدل فرض بر این است که خدمت‌دهنده بعد از خدمت‌دهی درصورت وجود مشتری در صف، بدون بازگشت به مبدأ، مستقیماً به محل آن می‌روند [۴]. جرولیمینیس و همکاران در همان سال، با تعمیم مدل هایپرکیوب، پایگاه‌های امداد جاده‌ای را در شبکهٔ حمل و نقل، مکان‌یابی نمودند. مدل‌ریاضی برای یافتن مکان بهینه تسهیلات و مدل هایپرکیوب برای محاسبهٔ معیارهای عملکرد به‌کار رفته است. آنها، در نظرگرفتن نرخ‌های متفاوت خدمت‌دهی برای خدمت‌دهندگان مختلف (ارائه انواع خدمات داخل‌ناحیه‌ای و بین‌ناحیه‌ای) را به‌منظور بسط مدل در آینده پیشنهاد نمودند [۱۲].

گالوا و همکاران (۲۰۰۵)، دو مدلMEXCLP و MALP را با هم مقایسه نموده و آن‌ها را بوسیلهٔ مدل هایپرکیوب و الگوریتم آنیل شبیه‌سازی‌شده[1] توسعه دادند. الگوریتم آنیل شبیه‌سازی شده، نسبت به الگوریتم قبلی معرفی شده، از نظر زمان و کیفیت جواب، مناسب‌تر تشخیص داده شد [۱۰].

یانونی و مرابیتو (۲۰۰۷)، آنالیز عملکرد سیستم خدمات درمانی اضطراری با استفاده از مدل صف هایپرکیوب را ارائه دادند. در این مدل چند نوع تقاضا و چند نوع خدمت درنظر گرفته شده و امکان تخصیص چند خدمت‌دهندهٔ یکسان یا متفاوت به هر مشتری وجود دارد. نویسندگان وارد کردن روش هایپرکیوب ارائه شده در این مقاله را در روش‌های بهینه‌سازی برای پیدا کردن محل‌های استقرار بهینه، به‌عنوان تحقیقات آتی پیشنهاد نموده‌اند [۱۵]. تاکدا و همکاران در همان سال با استفاده از مدل هایپرکیوب، اثر غیرمتمرکزسازی[2] پایگاه‌های اورژانس در عملکرد سیستم را بررسی نمود و ادعا نمودند که می‌توان با استفاده از بهینه‌سازی ریاضی میزان عدم تمرکز بهینه را پیدا کرد. نویسندگان توسعه مدلی برای تقسیم‌بندی ناحیه به‌طور همزمان با مکان‌یابی را به‌عنوان تحقیقات آتی پیشنهاد نمودند [۲۹].

مرابیتو و همکاران (۲۰۰۸)، با استفاده از مدل هایپرکیوب، عملکرد سیستم آمبولانس‌ها را با خدمت‌دهنده‌های ناهمگن[3] ارزیابی نمودند. از آنجا که روش تقریبی لارسن در حالت همگن

1. Simulated Annealing
2. Decentralization
3. Non-homogeneous

Archive of SID

www.SID.ir

کاربرد دارد، لذا از روش دقیق حل مدل هایپرکیوب استفاده شده و مدل هایپرکوب همگن و ناهمگن از نظر عملکرد با هم مقایسه و نشان داده شده است که گروه دوم بهتر جواب می‌دهد [۲۳]. یانونی و همکاران در همان سال، یک مدل صف هایپرکیوب را برای یافتن مکان بهینه ایستگاه‌های آمبولانس در طول بزرگراه‌ها، با استفاده از الگوریتم ژنتیک برای بهینه‌سازی و مدل هایپرکیوب برای محاسبهٔ معیارها، ارائه دادند. نویسندگان به‌عنوان تحقیقات آتی، ترکیب الگوریتم های متاهیوریستیک را برای حل مسئله، به‌جای استفاده از الگوریتم ژنتیک توصیه نمودند [۱۶]. همچنین اتکینسون و همکاران (۲۰۰۸) با استفاده از مدل صف هایپرکیوب، احتمال ازدست‌دادن تقاضا در سیستم خدمات درمانی در حالتی که زمان خدمت‌دهی وابسته به نوع مشتری باشد را محاسبه نمودند. در این مدل۳ حالت برای هر خدمت‌دهنده درنظر گرفته شده که حل مدل را سخت‌تر کرده است (تعداد کل حالت‌های سیستم 3^N). در این تحقیق دو روش هیوریستیک و یک روش مبتنی بر شبیه‌سازی برای حل مسئله ارائه شده است [۱].

لائورا مکلی (۲۰۰۹)، با استفاده از مدل هایپرکیوب، دو نوع سرور را مکان‌یابی و تعداد سرورهای از هر نوع را با هدف حداکثر کردن تقاضای پوشش یافته با اولویت اول تعیین نمود. در این مدل، تقاضاها دارای سه اولویت هستند و آمبولانس‌ها دو نوع‌اند. وی با استفاده از مدل هایپرکیوب پارامترهای مدل را بدست آورده و مدل را به‌صورت یک مدل برنامه‌ریزی عدد صحیح فرموله نموده است. این مدل با فرض اینکه سرورها دو نوع (یکی بتواند بیمار را جابجا کند و دیگری نه) باشند، به واقعیت نزدیک است [۲۱]. رسترپو و همکاران در همان سال، یک مدل ارلنگ-لاس[1] برای تعیین محل استقرار آمبولانس‌ها در یک ناحیه، ارائه دادند. در این مدل از توزیع ارلنگ برای زمان خدمت‌دهی استفاده شده و دو مدل صف برای حل مسئله ارائه شده، که اولی مدلی تجویزی و دومی مدلی توصیفی است. در نهایت نتایج حاصل از دو مدل با نتایج مدل هایپرکیوب مقایسه شده‌اند که نسبتاً قابل قبول می‌باشند. نویسندگان آزادسازی فرض استقلال تقاضاها در نواحی مختلف، برای در نظر گرفتن حالاتی که چندین محل به‌طور همزمان نیاز به امداد پیدا می‌کنند (مانند حوادث طبیعی) را پیشنهاد داده‌اند [۲۵].

راجاگوپالان و همکاران (۲۰۰۹)، مدلی برای مکان‌یابی بهینهٔ آمبولانس‌ها با مینیمم‌سازی فاصلهٔ سفر آمبولانس‌ها با فرض پوشش تقاضا ارائه دادند. حل مدل با استفاده از یک الگوریتم جستجوی هیوریستیک انجام شده و احتمال مشغول بودن هر خدمت‌دهنده، با استفاده از مدل هایپرکیوب بدست آورده شده است. نویسندگان به استفاده از شبیه‌سازی برای محاسبهٔ معیارهای عملکرد تقریبی تاکید نموده‌اند [۲۴]. همچنین یانونی و همکاران (۲۰۰۹)، یک روش بهینه‌سازی برای تعیین مکان و نواحی پاسخگویی بهینهٔ آمبولانس‌ها در بزرگراه‌ها ارائه دادند. آن‌ها از

1. Erlang-Loss Model

Archive of SID

www.SID.ir

الگوریتم ژنتیک ترکیبی برای بهینه‌سازی و از مدل هایپرکیوب برای محاسبهٔ معیارها استفاده نمودند [۱۷]. آنها در همان سال با استفاده از مدل هایپرکیوب، یک حل بهینهٔ سرراست برای مسائل خدمات اورژانسی در بزرگراه‌ها در مقیاس بزرگ برای جانمایی سرورها و ناحیه بندی ارائه دادند. در این مدل، بزرگراه به چند قسمت تقسیم می‌شود و هر قسمت دو آمبولانس (اصلی و پشتیبان) دارد. روش حل با توجه به استفادهٔ آن در بزرگراه‌ها توسعه داده شده و سرعت حل و صحت جواب مناسب است [۱۸].

معرفی مدل صف هایپرکیوب. معروف‌ترین مدل صف که برای مکان‌یابی تسهیلات استفاده شده است، مدل هایپرکیوب می‌باشد. ویژگی مهم این مدل در این است که برای مکان‌یابی خدمت‌دهنده‌های متحرک به‌کار می‌رود [۱۹]. در مدل صف هایپرکیوب ابتدا احتمالات حدی سیستم در بلندمدت با توجه به تعریف حالت سیستم محاسبه می‌شود. برای محاسبهٔ احتمالات حدی هر حالت سیستم، و در پی آن محاسبهٔ همه اطلاعات درمورد نحوهٔ اشغال شدن خدمت‌دهنده‌ها، باید ابتدا نرخ انتقال بین حالت‌ها محاسبه شود. پس‌از محاسبهٔ احتمالات حدی معیارهای ارزیابی سیستم با توجه به مفاهیم موجود در تئوری‌صف محاسبه می‌شوند[۸]. بعد از محاسبهٔ معیارهای ارزیابی سیستم، مکان بهینه تسهیلات با استفاده از برنامه‌ریزی ریاضی و استفاده از الگوریتم‌های متاهیوریستیک تعیین می‌شود [۱۷و۷]. در این مدل برای هر خدمت‌دهنده دو حالت مشغول (۱) و بیکار (۰) درنظر گرفته می‌شود. بنابراین حالت سیستم را می‌توان یک بردار که مؤلفه‌های آن نشانگر حالت انفرادی هریک از خدمت‌دهنده‌های سیستم است، نشان داد. سیستم مذکور دارای ۲^N حالت است که در آن N نشان‌دهندهٔ تعداد خدمت‌دهنده‌های سیستم است. اگر سیستم دارای ۳ خدمت‌دهنده باشد می‌توان حالات مختلف آن را با مختصات گوشه‌های یک مکعب واحد نشان داد. با افزایش تعداد خدمت‌دهنده‌ها حالات مختلف سیستم متناظر با مختصات گوشه‌های یک ابرمکعب (هایپرکیوب) خواهد شد که علت نامگذاری این مدل به این نام را نشان می‌دهد [۱۹]. اختلاف بین دو حالت مختلف این سیستم را با فاصله همینگ[1] بیان می‌کنند. طبق تعریف فاصله دو حالت برابر تعداد مؤلفه‌های متفاوت در بردار متناظر دو حالت می‌باشد. بعنوان مثال فاصله همینگ دو حالت (۱۰۰۱۱) و (۰۱۱۱۱) برابر ۳ می‌باشد. در واقع فاصله همینگ بین دو حالت برابر با تعداد یال‌های ابرمکعب می‌باشد که برای رفتن از یک حالت به حالت دیگر باید طی شود [۱۹].

1. Hamming Distance

Archive of SID

www.SID.ir

پرسش‌های اصلی و فرعی. این تحقیق به‌دنبال پاسخگویی به این سوال اصلی می‌باشد: با در نظر گرفتن معیارهای ارزیابی سیستم، بهترین حالت تخصیص ایستگاه‌های امداد جاده‌ای به ناحیهٔ بزرگراه تهران ـ قم(محدودهٔ تهران)، به چه صورت است؟

به‌منظور پاسخگویی به سوال اصلی تحقیق، سوالات فرعی زیر پاسخ داده می‌شوند: ۱. مدت زمان بین هر تقاضا در هر ایستگاه و مدت زمان خدمت‌دهی برای هر تقاضا در هر ایستگاه، با توجه به وضعیت فعلی سیستم، از چه توزیعی پیروی می‌کند؟ ۲. با توجه به مکان فعلی تسهیلات استقرار داده شده، میزان بار کاری هر ایستگاه چه میزان می‌باشد؟ ۳. مناسب‌ترین پیکره‌بندی سیستم (سایز هر ناحیه) در حالتی‌که بار کاری هر ایستگاه به توازن برسد، چگونه است؟ ۴. معیارهای عملکردی سیستم، پس از اعمال تغییرات در پیکره‌بندی سیستم چه میزان است؟ ۵. نحوهٔ رفتار سیستم در مقابل افزایش میزان تقاضا چگونه است؟

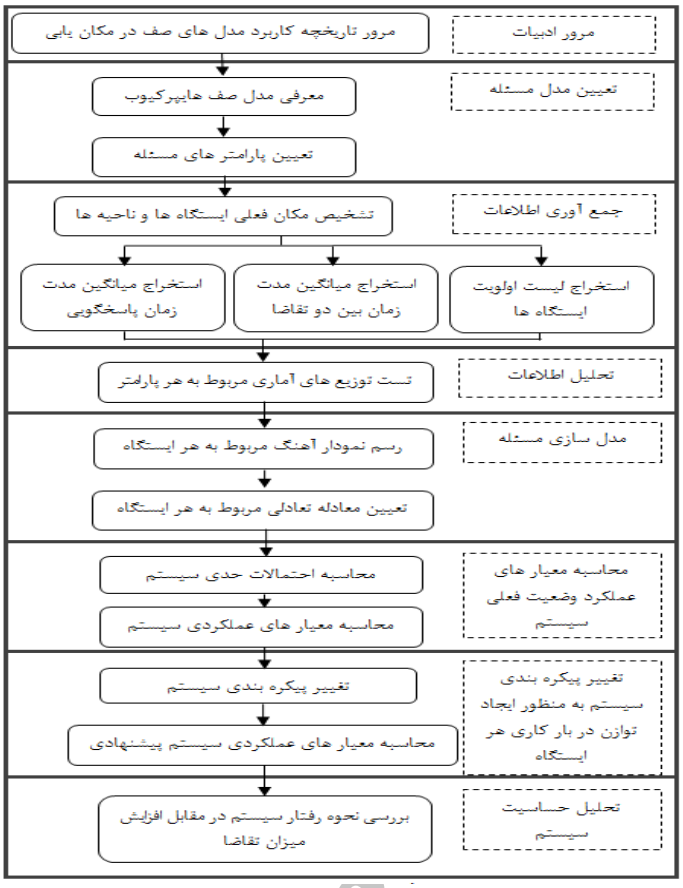
۳. روش‌شناسی تحقیق

تحقیق حاضر از نوع تحقیقات کاربردی می‌باشد و مطالعهٔ موردی در بزرگراه تهران ـ قم صورت گرفته است. درمورد پیشینهٔ تحقیق نیز از روش تحقیق پیمایشی استفاده شده است. در این تحقیق برای گردآوری اطلاعات از مطالعات کتابخانه‌ای و جستجوهای اینترنتی، بررسی اسناد و مدارک علمی خارجی و جمع‌آوری داده‌های مربوط به مسئله از سازمان اورژانس تهران استفاده شده است. به‌منظور خلاصه‌کردن نتایج خروجی مسئله و مقایسهٔ نتایج، از آمار توصیفی از جمله رسم جدول و نمودار استفاده شده است. همچنین با استفاده از نرم‌افزار SPSS، داده‌های واقعی جمع‌آوری شده از نمونه که همان حوادث اتفاق افتاده و در پی آن تماس گرفته شده با اورژانس تهران مربوط به تابستان سال ۱۳۸۸ می‌باشد، ویژگی‌های جمعیت جامعه یعنی همان کل حوادث اتفاق افتاده در بزرگراه تهران ـ قم که منجر به تماس و ارائهٔ خدمت شده، تخمین زده شده است.

نقشه راه این تحقیق به‌طور خلاصه در شکل ۱ ارائه شده است.

Archive of SID

www.SID.ir



شکل ۱. نقشهٔ راه تحقیق

٤. تحلیل داده‌ها و یافته‌های پژوهش

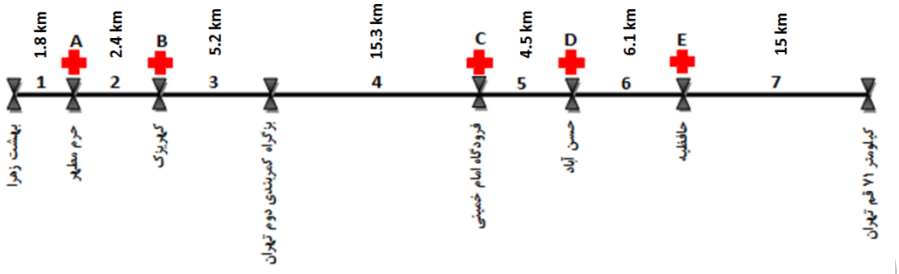
اجرای مدل صف هایپرکیوب در بزرگراه تهران ـ قم. در این تحقیق، بنا به مطابقت فضای مسئله با فرضیات مدل هایپرکیوب از آن استفاده شده است. سیستم مذکور دارای ۲۵حالت است که عدد۵ نشان‌دهندهٔ تعداد خدمت‌دهنده‌های سیستم است. به‌عنوان مثال بردار (۱۰۰۱۱) حالتی از سیستم ما را نشان می‌دهد که در آن خدمت‌دهندگان سوم و چهارم بیکار هستند (از راست به چپ) و سایر خدمت‌دهندگان مشغول به کار می‌باشند. در این مرحله، مراحل اجرای تحقیق به‌صورت خلاصه ارائه شده است.

مکان فعلی پایگاه ها و اتم هادر بزرگراه تهران قم. یکی از مهم‌ترین فرضیات مدل هایپرکیوب این است که در این مدل مکان اولیهٔ تسهیلات مشخص است و کل ناحیهٔ مورد

Archive of SID

www.SID.ir

بررسی با توجه به تعداد تسهیلات و مکان آن‌ها به زیرناحیه‌ها تقسیم‌بندی می‌شود که به هر یک از این زیرناحیه‌ها یک اتم جغرافیایی[1] گفته می‌شود[۸]. در این مرحله مکان فعلی هر یک از پایگاه‌ها، ناحیه‌هایی که هر یک از آمبولانس‌ها در صورت بروز حادثه به آنها خدمت‌رسانی می‌کنند و همچنین طول ناحیهٔ هر اتم مشخص گردیده است (شکل۲).



شکل ۲. مکان فعلی پایگاه‌ها و ناحیه‌ها در بزرگراه تهران ـ قم

لیست آمبولانس‌های اولویت اول و دوم هر اتم. در مدل هایپرکیوب، برای هر اتم یک لیست مرتب‌شده خدمت‌دهندگان (براساس اولویت) وجود دارد که براساس آن خدمت‌دهندگان به تقاضاهای ایجاد شده در آن اتم تخصیص می‌یابند[۸]. در این مرحله از تحقیق، لیست آمبولانس‌های اولویت اول و دوم برای هر اتم (ناحیه) مشخص گردیده است (جدول ۱).

جدول ۱. لیست آمبولانس‌های اولویت اول و دوم برای هر ناحیه

شماره اتم	آمبولانس اولویت اول	آمبولانس اولویت دوم (پشتیبان)
۱	A	B
۲	B	A
۳	B	C
۴	C	D
۵	D	C
۶	D	E
۷	E	D

1. Geographical Atom

Archive of SID

www.SID.ir

مطابقت فرضیات مدل هایپرکیوب با مدل دنیای واقعی. فرضیات مدل صف هایپرکیوب در مکان‌یابی تسهیلات در ادامه ارائه شده [۲۲] و مطابقت فضای مسئله با هر یک از این مفروضات ارائه گردیده است.

– *اتم‌های جغرافیایی:* طول جاده به N_A اتم جغرافیایی که در این تحقیق برابر ۷ می باشد، افراز شده است.

– *ورودهای مستقل پواسون:* تقاضا برای خدمات اورژانسی در هراتم j طبق فرایند پواسون با پارامتر λ_j و مستقل از سایر اتم‌ها ایجاد می‌شوند. این اطلاعات از مرکز اورژانس تهران قابل استخراج بوده و تقاضای هر ناحیه به‌صورت جداگانه موجود و برای هر تقاضا، زمان تقاضا و محل دقیق آن در ناحیهٔ مربوطه مشخص می‌باشد. برای آزمون فرضیهٔ اینکه داده‌ها واقعاً از توزیع پواسون پیروی می‌کنند، آزمون‌های نیکویی برازش مربع‌کای[1]، کولموگروف–اسمیرنوف[2] روی داده‌ها انجام شده و مشخص شد که این تست‌ها نمی‌توانند در سطح ۵٪ فرض مذکور را رد کنند (نتایج استخراج شده :جدول۲).

جدول ۲. آمار فرایند ورودی به هر اتم

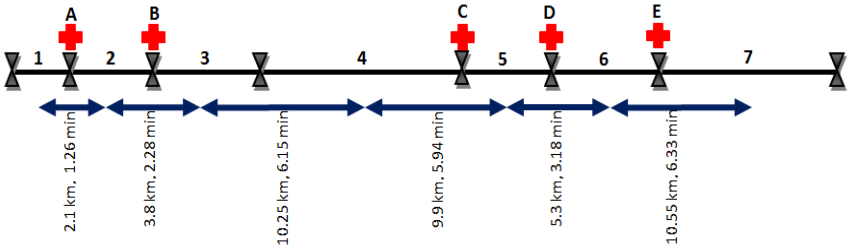
Atom j	Number of events	Mean interval time (min)	Standard deviation (min)	Coefficient of variation	Arrival rate λ_j (min^{-1})
1	43	3114/41	2526/26	0/81	0/00032
2	38	3524/21	2856/18	0/82	0/00028
3	32	4185/00	3828/17	0/91	0/00024
4	70	1913/14	1165/87	0/61	0/00052
5	36	3720/00	3645/63	0/98	0/00027
6	39	3433/84	2953/48	0/85	0/00029
7	57	2349/47	1690/35	0/71	0/00043

– *زمان‌های سفر:* متوسط زمان سفر از اتم i به اتم j برابر τ_{ij} تخمین زده شده است. نتایج این تخمین‌ها، با تعیین مراکز اتم‌ها و با توجه به سرعت متوسط بزرگراه تعیین گردیده است (شکل ۳).

1. Chi-Square
2. Kolmogorov-Smirnov

Archive of SID

www.SID.ir



شکل ۳. فاصله و متوسط زمان سفر از اتم i به اتم j

- *خدمت‌دهندگان:* تعداد ۵ آمبولانس وجود دارد هر آمبولانس در زمان بیکاری در پایگاه و در حالت انتظار برای تماس اورژانسی جدید می‌ماند.

- *تخصیص خدمت‌دهندگان:* در پاسخ به هر تماس اورژانسی دقیقاً یک آمبولانس به محل حادثه اعزام می‌شود. ابتدا نزدیک‌ترین آمبولانس به محل حادثه (اولین آمبولانس در لیست اولویت اتم مربوطه) تخصیص داده می‌شود و اگر این آمبولانس مشغول بود، دومین آمبولانس نزدیک (دوم در لیست مذکور) تخصیص می‌یابد. اگر آمبولانس پشتیبان نیز مشغول باشد، آنگاه تقاضای مربوطه از دست می‌رود و به واحدهای خارج از سیستم (مانند بیمارستان‌های محلی و یا امدادهای خصوصی) ارجاع داده می‌شود.

- *زمان خدمت‌دهی:* زمان خدمت‌دهی شامل زمان آماده‌سازی، زمان سفر از پایگاه به محل حادثه، زمان حضور در محل حادثه، زمان‌های ممکن دیگر(مثل انتقال به بیمارستان)، و زمان برگشت به پایگاه می‌باشد. این داده‌ها برای هر آمبولانس ثبت شده و در آمار مرکز اورژانس تهران موجود می‌باشد. برای آزمون فرضیهٔ اینکه داده‌ها واقعاً از توزیع نمایی پیروی می‌کنند، آزمون‌های نیکویی برازش مربع‌کای و کولموگروف–اسمیرنوف روی داده‌ها انجام شده و مشخص شد که این تست‌ها نمی‌توانند در سطح ۵٪ فرض مذکور را رد کنند (نتایج استخراج شده: جدول ۳).

جدول ۳. آمار فرایند خدمت‌دهی هر آمبولانس

Basen	Number of services	Mean service time (min)	Standard deviation (min)	Coefficient of variation	service rate μ_j (min^{-1})
1	40	127/42	80/08	0/64	0/00785
2	70	154/31	89/61	0/57	0/00648
3	69	143/52	89/05	0/62	0/00697
4	73	137/29	85/14	0/62	0/00728
5	56	173/53	98/96	0/56	0/00576

Archive of SID

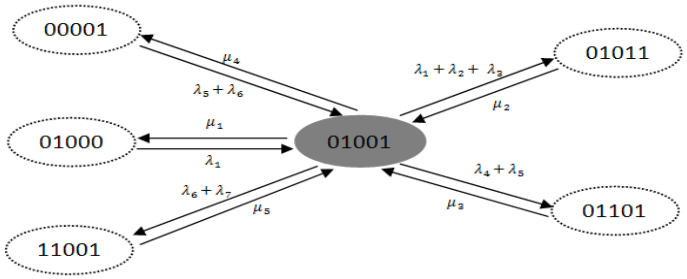
www.SID.ir

پارامترهای مدل. پارامترهای مدل صف هایپرکیوب در جدول ۴ ارائه شده است [۲۲].

جدول ۴. پارامترهای مدل صف هایپرکیوب

N	**تعداد خدمت‌دهنده‌ها (که در این مسئله برابر تعداد تسهیلات می‌باشد).**
N_A	تعداد اتم‌ها (ناحیه‌ها).
K	مجموعهٔ کلیهٔ حالت‌های سیستم: $\|K\|=2^N$
f_{nj}	کسری از سفرها که در آن خدمت‌دهنده n به اتم j سفر می‌کند، $n=1,2,\ldots,N$.
λ	نرخ کلی تقاضا.
λ_j	نرخ تقاضای تولید شده در اتم j، $j=1,2,\ldots,N_A$
μ_i	نرخ سرویس‌دهی خدمت‌دهنده i ، $i= 1, 2,..., N$
P_B	احتمال حدی قرار داشتن سیستم در حالت B .
P_p	احتمال کمبود سیستم[1] (احتمال از دست دادن تقاضا).

رسم نمودارهای آهنگ هر حالت. رابطهٔ بین حالت‌های یک سیستم صف را می‌توان با نمودار آهنگ نشان داد. در این نمودار گره‌ها معرف حالت سیستم و شاخه‌ها نشان‌دهندهٔ امکان گذار از هر حالت به حالت دیگر است[۱]. در این مرحله نمودارهای آهنگ هر حالت را ترسیم خواهیم کرد. به‌عنوان مثال برای حالت (۰۱۰۰۱)، نمودار آهنگ به‌صورت شکل ۴ می‌باشد. در این نمودار آهنگ وقتی حالت سیستم از (۰۱۰۰۱) به حالت (۰۰۰۰۱) انتقال می‌یابد که خدمت‌دهندهٔ چهارم (D)، با نرخ μ_4 خدمت‌رسانی کند. همین‌طور وقتی حالت سیستم از (۰۰۰۰۱) به (۰۱۰۰۱) انتقال می‌یابد که ناحیهٔ ۵ و یا ۶ تقاضای خدمت برای خدمت‌دهنده D داشته باشند. برای شاخه‌های دیگر نیز با توجه به اولویت‌های هر خدمت دهنده در خدمت‌دهی، نمودار آهنگ قابل تفسیر می‌باشد.



شکل۴. جریان‌های ورودی و خروجی حالت (۰۱۰۰۱)

1. System Loss Probability

Archive of SID

www.SID.ir

تعیین معادله تعادلی هر حالت. برای نوشتن معادلات تعادلی باید جمع جریان ورودی را برابر جمع جریان خروجی قرار دهیم. به‌عنوان مثال برای حالت (۰۱۰۰۱) با توجه به نمودار آهنگ شکل ۴ معادله تعادلی مطابق رابطه ۱ می‌باشد.

$$(\mu_2)P_{01011} + (\mu_3)P_{01101} + (\mu_5)P_{11001} + (\lambda_1)P_{01000} + (\lambda_5+\lambda_6)P_{00001} = (\lambda_1+\lambda_2+\lambda_3+\lambda_4+\lambda_5+\lambda_6+\lambda_7+\mu_1+\mu_4+\mu_5)P_{01001}$$

محاسبهٔ معیارهای عملکرد سیستم

– احتمالات حدی سیستم: با جای‌گذاری یکی از۳۲ معادله تعادلی سیستم بدست آمده با $\Sigma BPB = 1$، یک دستگاه معادلات ۳۲ معادله‌ای با ۳۲ مجهولی حاصل می‌شود که حل آن با استفاده از نرم‌افزار MATLAB احتمالات حدی برای هر یک از حالات را ارائه می‌دهد (جدول ۵).

جدول ۵. احتمالات حدی هر یک از حالات سیستم

حالت	p	حالت	p	حالت	p	حالت	p
۰۰۰۰۰	۰/۶۶۸	۰۱۰۰۱	۰/۰۰۳۹	۰۰۱۱۱	۰/۰۰۱۷	۱۰۱۱۰	۰/۰۰۳۰
۰۰۰۰۱	۰/۰۲۹	۱۰۰۰۱	۰/۰۰۳۶	۰۱۰۱۱	۰/۰۰۱۹	۱۱۰۱۰	۰/۰۰۳۱
۰۰۰۱۰	۰/۰۶۲	۰۰۱۱۰	۰/۰۰۸۳	۱۰۰۱۱	۰/۰۰۲۱	۰۱۱۱۱	۰/۰۰۲۸
۰۰۱۰۰	۰/۰۵۵	۰۱۰۱۰	۰/۰۰۷۵	۰۱۱۰۱	۰/۰۰۱۷	۱۰۱۱۱	۰/۰۰۲۶
۰۱۰۰۰	۰/۰۵۷	۱۰۰۱۰	۰/۰۰۶۸	۱۰۱۰۱	۰/۰۰۱۶	۱۱۰۱۱	۰/۰۰۲۴
۱۰۰۰۰	۰/۰۲۵	۰۱۱۰۰	۰/۰۰۹۹	۱۱۰۰۱	۰/۰۰۱۷	۱۱۱۰۱	۰/۰۰۲۲
۰۰۰۱۱	۰/۰۰۶	۱۰۱۰۰	۰/۰۰۳۵	۰۱۱۱۰	۰/۰۰۳۲	۱۱۱۱۰	۰/۰۰۴۷
۰۰۱۰۱	۰/۰۰۳	۱۱۰۰۰	۰/۰۰۴۹	۱۱۱۰۰	۰/۰۰۳۱	۱۱۱۱۱	۰/۰۰۸۸

با استفاده از این احتمالات برخی از معیارهای عملکرد سیستم مطابق رابطه‌های ارائه شده در قسمت‌های بعد، قابل محاسبه است.

– *میزان بارکاری[1] آمبولانس i (ρi)*: میزان بار کاری آمبولانس n کسر زمان‌هایی است که در آن آمبولانس n مشغول است. این میزان برابر است با جمع احتمالات تعادلی که در آن آمبولانس n مشغول است[۲۲]. میزان بار کاری هر آمبولانس با استفاده از رابطه۲ محاسبه شده و نتایج محاسبات در جدول ۷ ارائه گردیده است.

$$\rho_i = \sum_{B:\ \text{server i is buzy}} P_B$$

1. workload

Archive of SID

www.SID.ir

به‌عنوان مثال میزان بار کاری آمبولانس یک به‌صورت زیر محاسبه می‌شود:

$$\rho_1 = \sum_{B:\, server\ 1\ is\ buzy} P_B = P_{00001} + P_{00011} + P_{00101} + P_{01001} + P_{10001} + P_{00111} + P_{01011} + P_{10011} + P_{01101} + P_{10101} + P_{11001} + P_{01111} + P_{10111} + P_{11011} + P_{11101} + P_{11111}$$

– *میزان عدم توازن بار کاری خدمت‌دهندگان:* عدم توازن بار کاری هر آمبولانس برابر با مقدار اختلاف بار کاری هر آمبولانس با میانگین بار کاری هر آمبولانس می‌باشد (رابطه۳). مقادیر عدم توازن بار کاری هر آمبولانس در جدول ۷ ارائه شده است.

$$\Delta W = |\rho_{mean} - \rho_i|$$

– *احتمال از دست رفتن تقاضا در کل سیستم P_p:* این احتمال (رابطه ۴) با درنظر گرفتن وضعیت آمبولانس‌ها در مواجهه با هر تقاضا از ناحیه‌های مختلف محاسبه می‌گردد [۲۲]. به‌عنوان مثال عبارت اول رابطهٔ ۴ بیانگر زمانی است که خدمت‌دهندهٔ اول و دوم مشغول بوده و تقاضایی از نواحی یک یا دو وجود داشته باشد (نتایج محاسبات: جدول ۹).

$$P_p = (\frac{\lambda_1+\lambda_2}{\lambda})(P_{00011} + P_{01011} + P_{10011}) + (\frac{\lambda_4+\lambda_5}{\lambda})(P_{01100} + P_{01101}) + (\frac{\lambda_6+\lambda_7}{\lambda})(P_{11000} + P_{11001} + P_{11010}) + (\frac{\lambda_1+\lambda_2+\lambda_3}{\lambda})(P_{00111} + P_{10111}) + (\frac{\lambda_3+\lambda_4+\lambda_5}{\lambda})(P_{01110}) + (\frac{\lambda_2+\lambda_3+\lambda_4+\lambda_5}{\lambda})(P_{01111}) + (\frac{\lambda_4+\lambda_5+\lambda_6+\lambda_7}{\lambda})(P_{11100} + P_{11101}) + (\frac{\lambda_1+\lambda_2+\lambda_6+\lambda_7}{\lambda})(P_{11011}) + (\frac{\lambda_3+\lambda_4+\lambda_5+\lambda_6+\lambda_7}{\lambda})(P_{11110}) + P_{11111}$$

– *کسری از سفرهای خدمت‌دهندهٔ n به اتم j*[1]: این پارامتر با استفاده از رابطهٔ ۵ قابل محاسبه می باشد[۲۲].

$$f_{nj} = \frac{\frac{\lambda_j}{\lambda}\sum_{B\in E_{nj}} P_B}{1 - P_p}$$

در این رابطه Enj مجموعه‌ای از حالات که در آن خدمت‌دهندهٔ n نزدیک‌ترین خدمت‌دهنده در دسترس برای اتم j می‌باشد (یا به‌عبارتی خدمت‌دهندهٔ n به اتم j تخصیص داده شده است). به‌عنوان مثال، نحوهٔ محاسبهٔ مجموعهٔ E_{11} و E_{12} در ادامه ارائه شده است.

1. The fraction of all dispatches that send ambulance n to atom j

Archive of SID

www.SID.ir

E_{11}: {(00000), (00100), (01000), (11100), (10000), (00010), (00110), (01010), (10010), (01110), (10110), (11010), (11110)}
E_{12}: {(00010), (00110), (01010), (10010), (01110), (10110), (11010), (11110)}

با جای‌گذاری مقدار تقاضای کل ($\lambda = 0/00521$) در رابطه ۵ میزان f_{nj} برای هر یک از سفرها محاسبه شده است (جدول ۶).

جدول ۶: میزان f_{nj} برای هر یک از سفرها

f_{11}	0/1278	f_{44}	0/0180
f_{12}	0/0123	f_{45}	0/1039
f_{21}	0/0065	f_{46}	0/1126
f_{22}	0/1087	f_{35}	0/0097
f_{23}	0/0915	f_{56}	0/0061
f_{33}	0/0097	f_{57}	0/1720
f_{34}	0/2025	f_{47}	0/0090

- *میانگین زمان سفر آمبولانس n* [1] *(TU_n)*: این پارامتر برابر است با میانگین مدت زمان رسیدن آمبولانس n به محل حادثه [۲۲]. (رابطه۶)

$$TU_n = \frac{\sum_{j=1}^{N_A} f_{nj} t_{nj}}{\sum_{j=1}^{N_A} f_{nj}}$$

در این رابطه t_{nj} برای هر یک از سفرها برابر با میانگین مدت زمان سفر آمبولانس n، برای رفتن به اتم j می‌باشد. این پارامتر با استفاده از داده‌های شکل۳ قابل محاسبه می‌باشد. به‌علاوه اینکه با توجه به داده‌های موجود در برگ مأموریت هر یک از خدمت‌ها و همچنین نظرات کارشناسان مرکز اورژانس تهران، مدت زمان آماده‌سازی هر یک از آمبولانس‌ها پس‌از تماس تلفنی برابر با ۵ دقیقه درنظر گرفته شده است که با میانگین مدت زمان سفر آمبولانس جمع‌شده و پارامتر t_{nj} را تشکیل می‌دهند. به‌عنوان مثال، میانگین مدت زمان رسیدن آمبولانس ۴ به محل حادثه مطابق رابطهٔ زیر محاسبه می‌شود (نتایج محاسبات: جدول ۷).

$$TU_4 = \frac{(f_{44} * t_{44}) + (f_{45} * t_{45}) + (f_{46} * t_{46}) + (f_{47} * t_{47})}{(f_{44} + f_{45} + f_{46} + f_{47})}$$

1. Mean travel time for ambulance n

Archive of SID

www.SID.ir

– *میانگین مدت زمان سفر سیستم*[1] *(T)*: این پارامتر مطابق رابطهٔ ۷ محاسبه می‌شود [۲۲] (نتایج محاسبات: جدول ۹).

$$T = \sum_{n=1}^{N} \sum_{i=1}^{N_A} f_{nj} t_{nj}$$

– میانگین زمان سفر برای رسیدن به اتم j، (Tj)[2]: میانگین زمان سفر آمبولانس‌ها برای رسیدن به هر یک از ناحیه‌ها (اتم‌ها) مطابق رابطهٔ ۸ محاسبه می‌شود.

$$\mathrm{T_j} = \frac{\sum_{n=1}^{N} \mathrm{f_{nj}} \mathrm{t_{nj}}}{\sum_{n=1}^{N} \mathrm{f_{nj}}}$$

به‌عنوان مثال برای ناحیهٔ شش مقدار میانگین زمان سفر مطابق رابطهٔ زیر بدست می‌آید (نتایج محاسبات: جدول ۸).

$$T_6 = \frac{(\mathrm{f_{46}} * \mathrm{t_{46}}) + (\mathrm{f_{56}} * \mathrm{t_{56}})}{(\mathrm{f_{46}} + \mathrm{f_{56}})}$$

– *کسر سفرها به هر ناحیه از ناحیه‌های دیگر:* این پارامتر با استفاده از رابطه ۹ محاسبه می‌شود [۱۹].

$$F_j = \frac{\sum_{j \neq i \{ i: i \text{ is in district} \}} \sum f_{nj}}{\sum_{j=1}^{N} \{ i: i \text{ is in district} \}} \sum f_{nj}$$

به‌عنوان مثال برای ناحیهٔ پنج، کسر سفرها که از ناحیه‌های دیگر صورت می‌گیرد، مطابق رابطهٔ زیر محاسبه می‌گردد (نتایج محاسبات:جدول ۸).

$$F_5 = \frac{\mathrm{f_{35}}}{\mathrm{f_{45}} + \mathrm{f_{35}}}$$

– *کسر سفرهای هر خدمت‌دهنده به ناحیه‌های دیگر:* این پارامتر مطابق با رابطه ۱۰ محاسبه می‌گردد [۱۹].

$$F_n = \frac{\sum_{\{j: j \text{ is out of district}\}} f_{nj}}{\sum_{j=1}^{N_A} f_{nj}}$$

1. The mean travel time of the system
2. The mean travel time to atom j

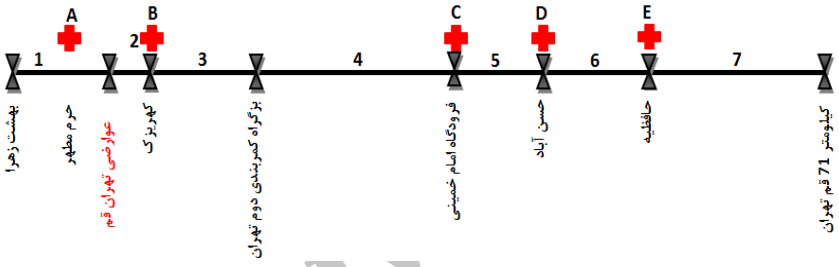
Archive of SID

www.SID.ir

به‌عنوان مثال کسر سفرهای هر خدمت‌دهنده که به ناحیه‌های دیگر صورت می‌گیرد برای خدمت‌دهنده ۳ به‌صورت زیر می‌باشد (نتایج محاسبات: جدول۷).

$$F_3 = \frac{f_{33} + f_{35}}{f_{33} + f_{34} + f_{35}}$$

بررسی سناریویی دیگر با توجه به عدم توازن بار کاری. نتایج مراحل قبلی حاکی از عدم توازن بار کاری برای آمبولانس‌ها می‌باشد. در این مرحله پیکره‌بندی سیستم را تغییر می‌دهیم تا بتوانیم به یک توازن از نظر بارکاری برای آمبولانس‌ها برسیم. یک راه ساده و بدون نیاز به سرمایه‌گذاری برای رفع این عدم تعادل، کاهش سایز اتمی است که برای آن آمبولانس با عدم توازن بار کاری (بار کاری بیشتر) در اولویت اول قرار دارد. همان‌طور که مشاهده گردید بار کاری آمبولانس شماره ۲ از بقیهٔ آمبولانس‌ها بیشتر است. لذا با توجه به اینکه این آمبولانس ناحیه مربوط به حرم مطهر امام خمینی تا پایگاه کهریزک را پاسخگو می‌باشد، با تغییر سایز اتم شماره ۲، از طول ناحیه اتم دو کاسته و به ناحیه یک اضافه گردید. این تغییر در پیکره‌بندی با توجه به نظر کارشناسان مرکز اورژانس تهران و با مد نظر گرفتن مسیر بزرگراه و دوربرگردان‌های موجود در آن اتخاذ گردید (شکل۵).



شکل ۵. اندازه ناحیه‌ها پس از اعمال تغییرات در سیستم

در این مرحله تمام مراحل تحقیق را مجدداً تکرار کرده و برخی معیارهای عملکردی سیستم را برای حالات قبل و بعد از تغییر مقایسه نمودیم (جداول ۷، ۸ و ۹).

Archive of SID

www.SID.ir

جدول ۷. نتایج تغییر پیکره‌بندی سیستم برای هر یک از آمبولانس‌ها

کسر سفرها به ناحیه‌های دیگر		میانگین زمان سفر		میزان عدم توازن بار کاری		بار کاری		نرخ خدمت‌دهی (μ)		
سیستم تغییر یافته	سیستم واقعی	سیستم تغییر یافته	سیستم واقعی	سیستم تغییر یافته	سیستم واقعی	سیستم تغییر یافته	سیستم واقعی	سیستم تغییر یافته	سیستم واقعی	شماره پایگاه
۰/۰۶۱	۰/۰۸۸	۵/۸۵۱	۵/۵۵۶	۰/۰۱۸۹	۰/۰۲۸۳	۰/۰۸۰۷	۰/۰۷۴۴	۰/۰۰۷۶۷	۰/۰۰۷۸۵	۱
۰/۰۴۳	۰/۰۳۱	۵/۶۲۰	۶/۱۳۱	۰/۰۱۴۶	۰/۰۲۴۴	۰/۱۱۴۳	۰/۱۲۷۲	۰/۰۰۷۱۳	۰/۰۰۶۴۸	۲
۰/۰۸۳	۰/۰۸۷	۹/۶۸۵	۹/۷۱۶	۰/۰۰۵۸	۰/۰۱۱۹	۰/۱۰۵۵	۰/۱۱۴۷	۰/۰۰۷۷۴	۰/۰۰۶۹۷	۳
۰/۱۰۴	۰/۱۱۱	۷/۲۲۵	۷/۲۶۱	۰/۰۱۹۲	۰/۰۱۶۰	۰/۱۱۸۹	۰/۱۱۸۸	۰/۰۰۷۲۸	۰/۰۰۷۲۸	۴
۰/۰۳۴	۰/۰۳۴	۹/۴۰۸	۹/۴۰۸	۰/۰۲۰۸	۰/۰۲۳۹	۰/۰۷۸۸	۰/۰۷۸۸	۰/۰۰۵۷۶	۰/۰۰۵۷۶	۵
۰/۰۶۵	۰/۰۷۰	۷/۵۵۸	۷/۶۱۴	۰/۰۱۵۹	۰/۰۲۰۹	۰/۰۹۹۶	۰/۱۰۲۸	Sum= ۰/۰۳۴۳۴		میانگین

جدول ۸. نتایج تغییر پیکره‌بندی سیستم برای هر یک از ناحیه‌ها

کسر سفرها به هر ناحیه از ناحیه‌های دیگر		میانگین زمان سفر برای رسیدن به اتم		نرخ ورود تقاضا (λ)		طول بازه (km)		
سیستم تغییر یافته	سیستم واقعی	سیستم تغییر یافته	سیستم واقعی	سیستم تغییر یافته	سیستم واقعی	سیستم تغییر یافته	سیستم واقعی	شماره اتم
۰/۰۵۵	۰/۰۴۸	۵/۸۸۶	۵/۶۱۰	۰/۰۰۰۳۷	۰/۰۰۰۳۲	۲/۸	۱/۸	۱
۰/۰۸۹	۰/۱۰۲	۵/۷۴۷	۵/۷۲۰	۰/۰۰۰۲۵	۰/۰۰۰۲۸	۱/۴	۲/۴	۲
۰/۰۸۵	۰/۰۹۵	۶/۳۰۱	۷/۴۳۶	۰/۰۰۰۲۴	۰/۰۰۰۲۴	۵/۲	۵/۲	۳
۰/۰۷۴	۰/۰۸۱	۹/۷۸۹	۹/۸۱۰	۰/۰۰۰۵۲	۰/۰۰۰۵۲	۱۵/۳	۱۵/۳	۴
۰/۰۸۷	۰/۰۸۶	۶/۳۵۰	۶/۳۵۰	۰/۰۰۰۲۷	۰/۰۰۰۲۷	۴/۵	۴/۵	۵
۰/۰۵۲	۰/۰۵۲	۶/۸۳۰	۶/۸۳۰	۰/۰۰۰۲۹	۰/۰۰۰۲۹	۶/۱	۶/۱	۶
۰/۰۴۹	۰/۰۵۰	۹/۶۸۱	۹/۶۸۱	۰/۰۰۰۴۳	۰/۰۰۰۴۳	۱۵	۱۵	۷
۰/۰۷۰	۰/۰۴۸	۷/۲۲۶	۷/۳۴۸	Sum= ۰/۰۰۲۳۵		۷/۲۲۶	۷/۱۸۵	میانگین

جدول ۹. نتایج تغییر پیکره‌بندی سیستم برای کل سیستم

(P_p)	T (min)	
۰/۰۳۰۹۳	۷/۶۴۴۵۷	سیستم واقعی
۰/۰۳۰۱۰	۷/۵۵۹۳۶۴	سیستم تغییر یافته

بررسی مقایسه‌ای وضعیت سیستم فعلی و سیستم پیشنهادی. با تغییر وضعیت سیستم، بار کاری آمبولانس شماره ۲، به‌میزان ۰/۱۳۰٪ کاهش یافته است (جدول ۷). البته تغییر سایز ناحیه‌ها تغییراتی جزئی بر بار کاری دیگر آمبولانس‌ها نیز گذاشته و در مجموع، میانگین بار کاری کل آمبولانس‌ها را به‌میزان ۰/۰۰۳۶ ٪ کاهش داده است. همچنین میزان عدم توازن بار کاری آمبولانس‌ها را کاهش داده و میانگین عدم توازن کل سیستم را به میزان ۰/۰۰۵۰ ٪ کاهش داده است.

Archive of SID

www.SID.ir

همچنین با اعمال تغییر در سایز ناحیه‌ها، میانگین زمان سفر آمبولانس‌ها، (به‌جز آمبولانس یک که افزایش یافته و دلیل آن نیز افزایش سایز اتم مربوط به آن می‌باشد) کاهش یافته و میانگین این معیار نیز از ۷/۶۱۴ دقیقه به ۷/۵۵۸ رسیده است. در سیستم پیشنهادی کسر سفرهای هر آمبولانس به‌عنوان پشتیبان به نواحی دیگر نیز کاهش یافته است و میزان آن از ۰/۰۷۰ به ۰/۰۶۵ رسیده است. به‌علاوه با مقایسه وضعیت سیستم واقعی با سیستم پیشنهاد شده، مشاهده می‌شود که میانگین زمان سفر برای رسیدن به اتم‌ها، از ۷/۳۴۸ به ۷/۲۲۶ کاهش یافته که بهبود سیستم خدمت دهی سیستم را نشان می‌دهد. بعلاوه کسر سفرها به هر ناحیه که از ناحیه‌های دیگر صورت می‌گیرد، از ۰/۰۴۸ به ۰/۰۷۰ کاهش یافته است (جدول ۸).

در نهایت همان‌گونه که در جدول ۹ مشاهده می‌شود، میانگین مدت زمان سفر کل سیستم از ۷/۶۴۵ به ۷/۵۵۹ کاهش یافته است. این تغییر به‌دلیل تغییر بسیار ناچیز، قابل اجرا و کم‌هزینه در تقسیم‌بندی ناحیه‌ها صورت گرفته است و بی شک با تغییرات بیشتر در نواحی و همچنین تخصیص هزینه بیشتر برای ایجاد یک پایگاه و افزایش تعداد آمبولانس‌ها در کل مسیر، این میزان بیشتر کاهش خواهد یافت. همچنین احتمال از دست رفتن تقاضا در سیستم به میزان ۰/۰۰۸۵ کاهش یافته است که بهبود وضعیت خدمت‌دهی را نشان می‌دهد.

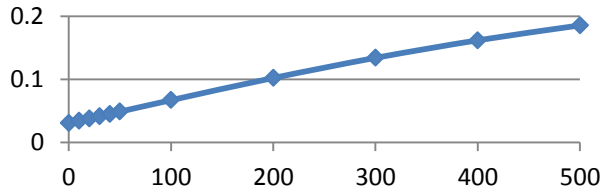
تحلیل حساسیت سیستم فعلی. در این مرحله به بررسی و تحلیل تغییرات در پارامتر تقاضای مشتریان، و اثرات آن روی خروجی مدل می‌پردازیم. برای بررسی نحوهٔ رفتار سیستم در مقابل افزایش شدید در میزان تقاضا، نرخ ایجاد تقاضا ($j\lambda$ ها) را به اندازهٔ ۱۰٪، ۲۰٪،...،۵۰٪، ۱۰۰٪، ۲۰۰٪، ۳۰۰٪، ۴۰۰٪ و ۵۰۰٪ افزایش داده و اثر این تغییرات را روی برخی معیارهای عملکردی سیستم نشان داده‌ایم.

با افزایش میزان تقاضا در سیستم، احتمال از دست دادن مشتری در کل سیستم افزایش می‌یابد. این امر با توجه به افزایش میزان تقاضا بدیهی به‌نظر می‌رسد. در واقع هر چه میزان تقاضا در کل سیستم افزایش یابد، احتمال اینکه خدمت‌دهندهٔ دارای اولویت برای پاسخگویی به تقاضا مشغول باشد، افزایش یافته و سیستم تقاضا را از دست می‌دهد (نمودار ۱). همچنین احتمال بیکاری سیستم به صفر میل می‌کند که این امر با توجه به افزایش میزان تقاضا بدیهی به‌نظر می‌رسد (نمودار۲). اثر افزایش تقاضا تأثیر بسیار ناچیزی بر روی میانگین مدت زمان سفر سیستم داشته و این امر نشان‌دهندهٔ عدم تشکیل صف در سیستم، با وجود افزایش بسیار زیاد تقاضا می‌باشد (نمودار۳). در آخر افزایش تقاضا باعث افزایش کسر سفرهای خدمت‌دهنده‌ها به ناحیه‌های دیگر شده و این امر با افزایش میزان تقاضا بدیهی به‌نظر می‌رسد، چرا که افزایش تقاضا باعث مشغول بودن بیشتر خدمت‌دهنده اولویت اول برای هر ناحیه شده و درصورت بروز

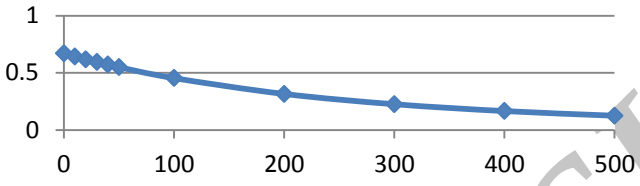
Archive of SID

www.SID.ir

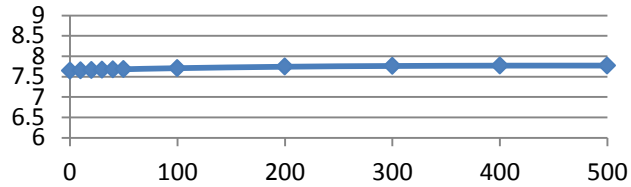
حادثهٔ دیگری در همان ناحیه، خدمت‌دهنده‌ای از ناحیهٔ دیگر بایستی برای ارائهٔ خدمت به ناحیهٔ مذکور سفر کند (نمودار ۴).



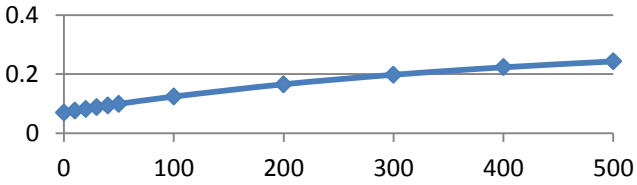
نمودار۱. اثر افزایش تقاضا بر روی احتمال از دست دادن مشتری در کل سیستم(P_p)



نمودار ۲. اثر افزایش تقاضا بر روی احتمال بیکار بودن کامل سیستم(P_{00000})



نمودار ۳. اثر افزایش تقاضا بر روی میانگین مدت زمان سفر سیستم (T)



نمودار۴: اثر افزایش تقاضا بر روی میانگین کسر سفرهای خدمت‌دهنده‌ها به ناحیه‌های دیگر ($F_n mean$)

۵. نتیجه‌گیری و پیشنهادها

این تحقیق در ابتدا مروری بر پیشینهٔ کاربرد روش صف هایپرکیوب در مکان‌یابی تسهیلات می‌باشد. با توجه به ماهیت احتمالی تقاضا در برخی مسائل مکان‌یابی و همچنین ظرفیت محدود

www.SID.ir

تسهیلات برای خدمت‌دهی، در بسیاری از مسائل دنیای واقعی شاهد ایجاد ازدحام برای دریافت خدمت می‌باشیم. یکی از راه‌های مدل‌سازی این مسائل استفاده از مدل‌های‌احتمالی و رویه دیگر استفاده از مدل‌های مبتنی بر تئوری صف برای تبیین مسئله، و حل آن با روش‌های مربوطه است. در این تحقیق از مدل‌های مبتنی بر تئوری صف در مکان‌یابی برای تبیین مسئله و تحلیل آن استفاده شده و با استفادهٔ مطالعهٔ موردی ایستگاه‌های امداد جاده‌ای در طول بزرگراه تهران ـ قم، نحوهٔ مدل‌سازی و حل مسئله به‌صورت مدل هاپرکیوب تشریح شد. در ادامه معیارهای ارزیابی عملکرد سیستم در وضع موجود محاسبه شد و با انجام تغییرات در ناحیهٔ پاسخگویی برخی از تسهیلات، معیارهای عملکرد بهبود داده شد. درنهایت نتایج محاسبات مورد تحلیل و تفسیر قرار گرفت و مقایسهٔ نتایج سیستم فعلی با سیستم پیشنهادی صورت گرفت. سپس تحلیل حساسیت سیستم با افزایش نرخ تقاضا صورت گرفت و نتایج آن مورد تحلیل و بررسی قرار گرفت.

یکی از موارد پیشنهادی استفاده از مدل‌های عمومی‌تر صف (مانند مدل‌های با توزیع عمومی) برای مدل‌سازی ماهیت احتمالی سیستم برای تطابق بیشتر مدل‌ها با واقعیت می‌باشد. همچنین آزادسازی مسئله از فرض‌هایی که مسئله را از واقعیت دور می‌کنند و مدل‌سازی مسائل واقعی‌تر مانند درنظر گرفتن مشتری‌های نیازمند به خدمات متفاوت، نرخ‌های خدمت‌دهی متفاوت (مثل آمبولانس‌های با قابلیت ارائه خدمات برای موارد حاد و عادی) می‌تواند به‌عنوان تحقیقات آتی پیشنهاد گردد. همچنین مدل‌هایی که قابلیت انجام همزمان مکان‌یابی و تقسیم‌بندی ناحیه را داشته باشند و مدل‌هایی که در آنها ظرفیت تسهیلات (تعداد سرور) نیز محاسبه شود، می‌توانند توسعه داده شوند.

استفاده از روش‌های بهینه‌سازی برای تعیین مکان و ناحیهٔ پاسخگویی بهینهٔ هر یک از تسهیلات و استفاده از مدل‌های شبیه‌سازی گسسته پیشامد[1] برای محاسبهٔ معیارهای عملکرد سیستم در حالتی که استخراج مدل صف مناسب، مشکل و یا غیرممکن باشد، به‌عنوان تحقیقات آینده پیشنهاد می‌گردد. به‌علاوه غیرقطعی درنظر گرفتن سایر پارامترهای مدل‌های موجود که معمولاً قطعی درنظر گرفته می‌شوند، مثلاً مدت زمان سفر به مکان‌های مختلف و یا مدت زمان منتهی به از دست رفتن مشتری (خروج مشتری از صف به دلیل طولانی شدن مدت انتظار) نیز مسائل را به دنیای واقعی نزدیک‌تر می‌کند.

1. Discrete Event Simulation

Archive of SID

www.SID.ir

منابع

1. Atkinson J.B., Kovalenko I.N., Kuznetsov N. and Mykhalevych K.V. A hypercube queueing loss model with customer-dependent service rate. (2008). *European Journal of Operational Research, 191*, 223–239.
2. Baron O., Berman O. and Krass D. Facility location with stochastic demand and constraints on waiting time. (2007). *Manufacturing & Service Operations Management, 10*, 484-505.
3. Berman O., and Drezner Z. (2007). The multiple server location problem. *Operational Research Society, 58*, 91–99.
4. Berman Oded, and Vasudeva Sandeep. Approximating performance measures for public services. (2005). *IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics-part a: Systems and Humans, 35*, 128-134.
5. Burwell T.H., McKne, M.A., and Jarvis, J.P. An application of a spatially distributed queuing model to an ambulance system. (1992). *Socio-Econ Plan Sci, 26*, 289-300.
6. Chiyoshi Fernando Y., Galvao Roberto D., and Reinaldo Morabito. A note on solutions to the maximal expected covering location problem. (2002). *Computers & Operations Research. 30*, 87-96.
7. D'Amico Steven J., Wang Shoou-Jiun, Batta Rajan, and Rump Christopher M. A simulated annealing approach to police district design. (2002). *Computers & Operations Research, 29*, 667–684.
8. Drezner Z. Facility location: a survey of applications and methods. (1995). *Springer Verlag. New York, 23*, 356- 367.
9. Fang Yang, Bian Yijie, and Xuefeng Wang. Solving service facilities location problem with elastic demand and congest effect. (2009).*6th International Conference on Service Systems and Service Management.*
10. Galvao Roberto D., Chiyoshi Fernando Y., and Reinaldo Morabito. Towards unified formulations and extensions of two classical probabilistic location model. (2005). *Computers & Operations Research, 32*, 15-33.
11. Geroliminis N., Karlaftis M., Stathopoulos A., and Kepaptsoglou K. Districting and location model using spatial queues. (2004). *Proceedings of the 83rd Transportation Research Board Annual Meeting. Washington D.C., U.S.A*.
12. Geroliminis Nikolas, Karlaftis Matthew G., and Skabardonis Alexander. A generalized hypercube queueing model for locating emergency response vehicles in urban transportation networks. (2006). *For Presentation 85th Annual Meeting Transportation Research Board. Washington, D.C.*
13. Geroliminis Nikolas, Karlaftis Matthew G., and Skabardonis Alexander. A spatial queuing model for the emergency vehicle districting and location problem. (2009). *Transportation Research, 43*, 798–811.
14. Goldberg Jeffrey, and Szidarovszky Ferenc. Methods for solving nonlinear equations used in evaluating emergency vehicle busy probabilities. (1991). *Operations Research, 6*, 903-916.
15. Iannoni Ana Paula, and Morabito Reinaldo. A multiple dispatch and partial backup hypercube queuing model to analyze emergency medical systems on highways. (2007). *Transportation Research, 43*, 755-771.

Archive of SID

www.SID.ir

16. Iannoni Ana Paula, Morabito Reinaldo, and Saydam Cem. A hypercube queueing model embedded into a genetic algorithm for ambulance deployment on highways. (2008). *Annals of Operations Research, 157*, 207–224.
17. Iannoni Ana Paula, Morabito Reinaldo, and Saydam Cem. An optimization approach for ambulance location and the districting of the response segments on highways. (2009). *European Journal of Operational Research, 195*, 528–542.
18. Iannoni Ana Paula, Morabito Reinaldo, and Saydam Cem. Optimizing large scale emergency medical system operations on highways using the hypercube queuing model. (2009). *Working Paper, Belk College of Business. UNC Charlotte.*
19. Larson C. Ricahrd. A hypercube queuing model for facility location and redistricting in urban emergency services. (1974). *Computers & Operations Research, 1*, 67-95.
20. Larson C. Richard. Approximating the Performance of Urban Emergency Service Systems. (1975). *Operations Research, 23*, 273- 287.
21. McLay Laura A. A maximum expected covering location model with two types of servers. (2009). *IIE Transactions, 41*, 730 – 741.
22. Mendonca FC., and Morabito R. Analysing emergency medical service ambulance deployment on a Brazilian highway using the hypercube model. (2001). *Journal of the Operational Research Society, 5*2, 261-270.
23. Morabito Reinaldo, Chiyoshi Fernando, and Galvao Roberto D. Non-homogeneous servers in emergency medical systems: Practical applications using the hypercube queueing model. (2008). *Socio-Economic Planning Sciences, 42*, 255–270.
24. Rajagopalan Hari K., and Saydam Cem. A minimum expected response model: Formulation, heuristic solution, and application. (2009). *Socio-Economic Planning Sciences, 23*, 1–10.
25. Restrepo Mateo, Henderson Shane G., and Topaloglu Huseyin. Erlang loss models for the static deployment of ambulances. (2007). *Health Care Management Science, 12*, 67–79
26. Shavandi H., Mahlooji H., Eshghi K. and Khanmohammadi S. A fuzzy coherent hierarchical location-allocation model for congested systems. (2006). *Scientia Iranica, 13*, 14-24.
27. Shavandi Hassan and Mahlooji Hashem. A fuzzy queuing location model with a genetic algorithm for congested systems. (2006). *Applied Mathematics and Computation, 181*, 440–456.
28. Syam Siddhartha S. A multiple server location–allocation model for service system design. (2008). *Computers & Operations Research, 35*, 2248 - 2265.
29. Takeda Renata Algisi, Widmer Joao A., and Reinaldo Morabito. Analysis of ambulance decentralization in an urban emergency medical service using the hypercube queueing model. (2007). *Computers & Operations Research, 34*, 727-741.

Archive of SID

www.SID.ir