تخصیص بهینه خودروهای خدمات اضطراری با در نظرگرفتن تقاضای گروهی

رویا داودی، دانش آموخته کارشناسی ارشد، دانشکده مهندسی، دانشگاه فردوسی مشهد، مشهد، ایران

فرزاد دهقانیان (مسئول مکاتبات) ، استادیار، دانشکده مهندسی، دانشگاه فردوسی مشهد، مشهد، ایران

محمدعلی پیرایش، دانشیار، دانشکده مهندسی، دانشگاه فردوسی مشهد، مشهد، ایران

E-mail: f.dehghanian@um.ac.ir

دریافت: ۱۳۹۲/۱۲/۲۲ پذیرش: ۱۳۹۳/۰۶/۲۴

چکیده:

در این مقاله مدلی برای تعیین تعداد بهینه خودروهای خدمات اضطراری[1]در ایستگاه‌های امدادی ارائه می‌شود. هدف از این مدل، بیشینه‌سازی امید ریاضی تماسهایی است که بلافاصله پاسخ داده می‌شوند. برای محاسبه امید ریاضی تماسهای پاسخ داده شده، لازم است که احتمال در دسترس بودن خودروهای امدادی محاسبه شود. نوآوری اصلی این مقاله در این است که هر تماس می‌تواند به بیش از یک خودروی امدادی نیاز داشته باشد. این حالت معادل یک سیستم صف با ورود گروهی است. بنابراین برای محاسبه احتمال در دسترس بودن خودروهای امدادی از معادلات صف با ورود گروهی استفاده می‌شود. مدل ارائه شده یک مدل برنامه‌ریزی عدد صحیح مختلط است که به دنبال تعیین تعداد بهینه خودروی امدادی در ایستگاه‌های از پیش تعیین شده است. برای بررسی کارآیی مدل ارائه شده، مسئله تعیین تعداد خودروهای بهینه خدمات اضطراری گاز شهری مشهد در نظر گرفته شده است. مدل ارائه شده باCPLEX حل و نتایج آن ارائه گردیده است. نتایج نشان می‌دهد که کاهش نرخ تماسها، افزایش نرخ خدمت‌دهی خودروها و افزایش تعداد خودروها می‌توانند اثر مهمی را در درصد پاسخگویی به تماسها داشته باشند.

واژه‌های کلیدی: خودروهای خدمات اضطراری، بیشینه سازی پوشش مورد انتظار، سیستم صف با ورود گروهی، برنامه‌ریزی عدد صحیح مختلط.

۱. مقدمه

همه ساله تعداد زیادی از مردم جهان در اثر وقوع حوادث مختلفی مانند انفجارهای ناشی از نشت گاز، آتش‌سوزی‌ها و غیره جان خود را از دست می‌دهند. اگر چه بروز حوادث امری گریز ناپذیر است و خسارات ناشی از آنها از جهات گوناگون به ویژه از نظر مالی و احساسی قابل جبران نیست، ولی با ایجاد آمادگی از طریق اقدامات پیشگیرانه و برنامه‌ریزیهای مناسب می‌توان خسارات و خطرات آنها را به حداقل ممکن کاهش داد. به این منظور سازمانهایی مانند اورژانس، آتش‌نشانی، امداد گاز و غیره برای ارائه خدمات اضطراری ایجاد شدند. این سازمانها معمولاً در هر شهر دارای یک مرکز تماس[۲] و تعدادی ایستگاه امداد رسانی هستند که در هر ایستگاه تعدادی خودروی امدادی قرار گرفته است. تماسهای اضطراری، از طریق مرکز تماس دریافت شده و اطلاعات مربوط به حادثه، مانند محل وقوع، نوع حادثه و غیره ثبت و به نزدیک‌ترین ایستگاه به محل حادثه ارجاع داده می‌شود. ایستگاه مربوطه پس از دریافت اطلاعات، اقدام به پاسخگویی می‌کند. در صورتی که خودروی امدادی بیکاری موجود نباشد، تماس تا رسیدن اولین خودروی بیکار در صف قرار می‌گیرد. یکی از اهداف سازمانهای ارائه دهنده خدمات اضطراری، پاسخگویی به حوادث در کوتاهترین زمان ممکن است.

تاخیر در زمان پاسخ، باعث افزایش خسارات شده و ممکن است سبب مرگ افراد شود، در حالی که پاسخگویی به موقع (بلادرنگ) علاوه بر پیشگیری از افزایش خسارات مادی باعث نجات افراد می‌گردد. این موضوع اهمیت بسیار برنامه‌ریزی برای پاسخگویی بموقع را به خوبی نشان می‌دهد. مهم‌ترین نکته در پاسخگویی بموقع، وجود خودروی امدادی در دسترس(بیکار) در ایستگاه‌های امدادی است. تعداد خودروهای تخصیص داده شده به هر ایستگاه، تعداد تماسها و تعداد خودروی مورد تقاضای هر تماس نقش مهمی در دسترس‌بودن خودروهای امدادی دارد. پاسخگویی بموقع به تمامی تماسها به دلیل محدودیت منابع امری دشوار است. بنابراین، این مقاله به دنبال مدلی است که با توجه به محدودیتهای موجود، تعداد خودروی امدادی برای هر ایستگاه را به گونه‌ای تعیین کند که پاسخگویی به موقع به تماسها بیشینه شود. چنین مدلی از دسته مسائل بیشینه سازی پوشش مورد انتظار (MEXCLP[۳]) است که با منابع محدود به دنبال بیشینه‌سازی امید ریاضی تقاضاهای پاسخ داده شده (پوشش یافته) هستند [Daskin, 1983]. یک ناحیه تقاضا زمانی تحت پوشش قرار می‌گیرد که زمان سفر یا فاصله مکانی نزدیک‌ترین تسهیل خدمت‌دهنده تا آن ناحیه تقاضا از یک حد آستانه بیشتر نباشد [Farahani et al. 2012]. فرض اصلی مطالعات مشابه در این زمینه این بوده است که هر تماس فقط به یک خودروی امدادی نیاز دارد. اما در دنیای واقعی در بسیاری از موقعیتهای اضطراری، به بیش از یک خودروی امدادی نیاز است. از جمله می‌توان به موارد مربوط به امداد گاز، آتش‌نشانی و پلیس اشاره کرد. در واقع در این گونه سیستمها، با توجه به بزرگی حادثه رخ داده، تعداد خودروی امدادی ارسال شده به محل حادثه متفاوت است. در این مقاله فرض می‌شود که هر تماس می‌تواند به بیش از یک خودروی امدادی نیاز داشته باشد. با توجه به اهمیت امدادرسانی به حوادث بزرگ و ضرورت ارسال بیش از یک خودروی امدادی، انجام چنین تحقیقی ضروری به نظر می‌رسد.طرح کلی مطالبی که در ادامه این مقاله به آنها اشاره خواهد شد، به این صورت خواهد بود: بخش دوم به مرور ادبیات مسئله و بیان نوآوری این مقاله پرداخته است. در بخش سوم تعریف دقیق مسئله، نحوه محاسبه احتمال بیکار بودن خودروهای امدادی و مدل ریاضی ارائه می‌شود. در بخش چهارم مسئله تعیین تعداد خودروهای امداد گاز شهری در مشهد ارائه شده و نتایج حاصل از مدل مورد بررسی و تحلیل واقع می‌گردد. بخش انتهایی مربوط به جمع‌بندی و پیشنهاد برای تحقیقات آتی است.

۲. مرور ادبیات

اولین مطالعه در زمینه پوشش توسط تورگس و همکارانش در سال ۱۹۷۱ صورت گرفته است. مدل آنها تحت عنوان مسئله پوشش کامل (LSCP[۴]) با هدف یافتن کمینه تعداد تسهیلات برای پوشش همه نقاط تقاضا ارائه شد. در مدل مذکور تعداد تسهیلات نامحدود در نظر گرفته شده که باعث کاهش کارآیی مدل می‌گردد، زیرا در واقعیت به دلیل محدودیتهایی نظیر محدودیت بودجه تعداد تسهیلات نمی‌تواند نامحدود باشد [Toregas et al. 1971]. به منظور رفع این ایراد، چرچ و ریوله در سال ۱۹۷۴ مدل بیشینه‌سازی پوشش (MCLP[۵]) را با هدف بیشینه‌سازی تقاضای پوشش یافته ارائه کردند که در این مدل تعداد تسهیلات محدود در نظر گرفته شده است [Church and ReVelle, 1974]. ضعف مدلهای LSCP و MCLP در این است که هنگامی که تسهیل در حال خدمت‌دهی به یک ناحیه تقاضا باشد، سایر نواحی که تحت پوشش تسهیل مذکور هستند بدون خدمت‌دهنده باقی می‌مانند. برای غلبه بر این ضعف توسعه‌هایی انجام گرفته است که به دو دسته کلی تقسیم‌بندی می‌گردند. دسته اول مربوط به مدلهای پوشش چندگانه می‌شود، مانند مدل استاندارد دوگانه[۶] که توسط گندراو و همکارانش در سال ۱۹۹۷ ارائه شده است. این مدل دو فاصله پوشش را در نظر می‌گیرد و هدف آن بیشینه‌سازی تقاضاهایی است که حداقل دو بار در فاصله کوچک‌تر پوشش یافته‌اند. بنابراین برای این نواحی، در صورت مشغول بودن یک تسهیل می‌توان از تسهیل دوم استفاده کرد [Gendreau et al., 1997]. دسته دوم که روش بهتر و کارآمدتری است، مربوط به مدلهای احتمالی است که احتمال مشغول بودن تسهیلات را در نظر می‌گیرند. مدل MEXCLP که توسط دسکین ارائه شده است، در این دسته قرار می‌گیرد. در این مدل تسهیلات، از یکدیگر مستقل فرض شده و احتمال مشغول بودن برای همه تسهیلات یکسان در نظر گرفته شده است [Daskin, 1983]. مدل بیشینه‌سازی دسترسی پذیری (MALP[۷]) نیز احتمال مشغول بودن تسهیلات را در نظر می‌گیرد. در این مدل که توسط ریوله و هوگان ارائه شده است، هدف بیشینه‌سازی تقاضاهای پوشش یافته در سطح اطمینان تعیین شده است. در مدل آنها با توجه به احتمال مشغول بودن، حداقل تعداد تسهیلات لازم که می‌بایست یک ناحیه تقاضا را پوشش دهند تا احتمال در دسترس بودن تسهیلات بیشتر از سطح اطمینان از پیش تعیین شده باشد، قابل محاسبه است. در این گروه از مدلها، خدمت‌دهنده‌ها مستقل از هم فرض می‌شوند و در نتیجه احتمال مشغول بودن خدمت‌دهنده‌ها مستقل از هم است [ReVelle and Hogan, 1989]. برای حذف فرض ساده سازی استقلال خدمت‌دهنده‌ها، ابتدا مدل Q-MALP [۸] ارائه شد که در آن با استفاده از تئوری صف کمترین تعداد خدمت‌دهنده مورد نیاز برای برآورده سازی پوشش با سطح اطمینان مورد نظر به دست می‌آید [Marianov and ReVelle, 1996]. گروه دیگری از محققان برای حذف فرض استقلال خدمت‌دهنده‌ها از مدلهای هایپرکیوب[۹] [Larson, 1975] استفاده می‌کنند. مدل هایپرکیوب دارای دو فرض اصلی است: (۱) هر خدمت‌دهنده می‌تواند به هر درخواستی که از هر ناحیه‌ای وارد شده است پاسخگویی کند، (۲) هر درخواست به یک خدمت‌دهنده جهت پاسخگویی نیاز دارد [Iannoni et al. 2008]. گالواو و مرابیتو در سال ۲۰۰۸ مروری بر استفاده از مدلهای هایپرکیوب انجام داده‌اند [Galvao and Morabito, 2008]. توسعه‌هایی از مدلهای هایپرکیوب را می‌توان در مقالات بتا و همکاران [Betta et al. 1989]، مکلی [McLay, 2009]، گالواو و همکاران [Galvao et al. 2005] و تورودیاز و همکارانش [Toro- Díaz et al. 2013] مشاهده نمود. لی و همکاران [Li et al. 2011] و باسار و همکاران [Başar et al., 2012] نیز مروری را بر ادبیات مدلهای برنامه‌ریزی و مکانیابی تسهیلات خدمات اضطراری انجام داده‌اند.

بر اساس مطالعات پیشین نوآوریهای مقاله حاضر شامل موارد

زیر است:

۱. فرض مشترک تمامی مطالعات انجام شده بر این بوده که هر تماس به یک خودروی امدادی نیاز دارد. در مدل ارائه شده در این مقاله فرض می‌شود که هر تماس بتواند به تعداد بیش از یک خودروی امدادی نیاز داشته باشد.

۲. به منظور محاسبه احتمال در دسترس بودن خودروهای مورد نیاز از سیستم صف با ورود گروهی بهره گرفته شده است. استفاده از صف با ورود گروهی در هیچ یک از مطالعات پیشین مربوط به خودروهای خدمات اضطراری وجود نداشته است.

۳. در مدل ارائه شده علاوه بر پاسخگویی کامل، پاسخگویی جزئی نیز در نظر گرفته می‌شود. به این معنی که امکان دارد تعداد خودروهای امدادی بیکار کمتر از تعداد مورد نیاز برای پاسخگویی به یک تماس باشد که در این صورت تمامی خودروهای بیکار برای پاسخگویی ارسال می‌گردند و پاسخگویی جزئی انجام می‌گیرد.

۳. تعریف مسئله و ارائه مدل ریاضی

۳-۱ تعریف مسئله

در مسئله مورد بحث یک منطقه با تعدادی ناحیه تقاضا و تعدادی ایستگاه امدادی در نظر گرفته می‌شود. با توجه به اهمیت زمان در پاسخگویی اضطراری، هر ناحیه تقاضا برای دریافت خدمت به نزدیک‌ترین ایستگاه ممکن تخصیص می‌یابد. هر تماس می‌تواند به بیش از یک خودروی امدادی نیاز داشته باشد. در صورتی که در ایستگاه مذکور خودروی امدادی بیکار موجود نباشد، تماس تا رسیدن اولین خودروی امدادی در صف قرار می‌گیرد. نظم صف به صورت FIFS[11] است. اگر تعداد خودروهای مورد نیاز یک تماس از تعداد خودروهای بیکار کمتر باشد، در این صورت بلافاصله تعداد خودروهای مورد نیاز تماس ارسال می‌گردد و به تماس کامل پاسخ داده می‌شود، اما اگر تعداد خودروی مورد نیاز یک تماس از تعداد خودروهای بیکار بیشتر باشد، تمام خودروهای بیکار به محل حادثه اعزام می‌گردند و پاسخگویی جزیی انجام می‌شود. هدف از مدلسازی تعیین تعداد خودروی امدادی هر ایستگاه به گونه‌ای است که متوسط تماسهایی که بلافاصله پاسخگویی می‌شوند بیشینه شود.

مفروضات اصلی مسئله موارد زیر هستند:

* همه خودروهای امدادی یکسان هستند و هر ایستگاه باید حداقل یک خودرو و حداکثر می‌تواند تعداد مشخصی خودروی امدادی داشته باشد (به دلیل محدودیت فضا).
* کل تعداد خودروهای امدادی محدود و مشخص است.
* زمان خدمت دارای توزیع نمایی است و نرخ خدمت برای تمامی خودروهای امدادی و نواحی تقاضا یکسان در نظر گرفته شده است. اگر پس از پایان امدادرسانی یک خودرو به آن خودرو نیاز باشد، خودروی مذکور بدون بازگشت به ایستگاه به محل حادثه بعدی اعزام می‌گردد. بنابراین زمان خدمت از زمان ارسال خودرو آغاز شده و تا زمان پایان یافتن خدمت ادامه دارد. با توجه به سیار بودن خودروها فرض نرخ خدمت یکسان برای تمامی نقاط تقاضا می‌تواند قابل قبول باشد.
* تعداد تماسهای برقرار شده از هر ناحیه تقاضا معلوم و دارای توزیع پواسون است. نرخ ورودی تماس به یک ایستگاه شامل مجموع نرخهای تماس مربوط به تمام نواحی تقاضایی است که به آن ایستگاه تخصیص داده شده‌اند.
* هر ناحیه تقاضا تحت پوشش یک ایستگاه امدادی است.
* هر تماس با احتمال مشخص، شامل تعدادی تقاضاست که هر تقاضا به یک خودروی امدادی نیاز دارد.

۳-۱-۱ محاسبه احتمال بیکار بودن خودروهای امدادی

به محض برقراری تماس با یک ایستگاه، تعداد خودروهای مورد تقاضای آن تماس (در صورت بیکار بودن) به طور همزمان مشغول می‌شوند. در صورتی که تعداد خوروهای بیکار کمتر از تعداد

خودروهای مورد تقاضا باشد، همان تعداد خودرو مشغول می‌شوند و مابقی تقاضا در انتظار رسیدن خودرو قرار می‌گیرند. این حالت معادل سیستم صف با ورود گروهی است که در آن برقراری یک تماس معادل ورود یک گروه به سیستم صف است، تعداد تقاضاهای یک تماس معادل تعداد مشتریان گروه است و خودروها معادل خدمت‌دهندگان در سیستم صف هستند.

با توجه به توضیحات فوق، هر ایستگاه یک سیستم صف $M^{[X]}/M/v$ است که در آن ورود به صورت گروهی و دارای توزیع پواسون با نرخ ورود λ است، زمان خدمت دارای توزیع نمایی با نرخ خدمت μ است و حداکثر تعداد خودروهای امدادی در ایستگاه برابر v است. با کمک روابط تعادل در این سیستم، می‌توان احتمال بیکار بودن t خودرو از v خودرو را محاسبه نمود. بیکار بودن t خودرو معادل مشغول بودن v-t خودرو است. بنابراین برای محاسبه احتمال بیکار بودن t خودرو، احتمال وجود v–t تقاضا در سیستم محاسبه می‌شود.

فرض می‌شود $\pi_{c,v}$ نشان دهنده احتمال وجود c تقاضا در سیستمی است که دارای v خودرو است. روابط (۱) و (۲) برای محاسبه $\pi_{c,v}$ در سیستم صف با ورود گروهی برقرار است [Cromie et al. 1979].

$$\pi_{c,v} = q_c\,\pi_{0,v} \qquad (۱)$$

به طوری که مقدار q_c برای مقادیر $c \geq ۱$ از رابطه (۲) محاسبه می‌گردد و $q_0 = ۱$.

$$q_c = \frac{\alpha}{\min(c,v)} \sum_{i=0}^{c-1} q_i \sum_{t=c-i}^{m} p_t \qquad c \geq 1 \qquad (۲)$$

در رابطه بالا α برابر $\frac{\lambda}{\mu}$ است. همچنین p_t نشان دهنده احتمال وجود t تقاضا در یک تماس است و m حداکثر تعداد خودروی مورد نیاز هر تماس است. همان گونه در رابطه (۱) دیده می‌شود محاسبه $\pi_{c,v}$ منوط به معلوم بودن مقدار $\pi_{0,v}$ است. در نتیجه نیاز است که ابتدا $\pi_{0,v}$ محاسبه گردد. به این منظور از محاسبه متوسط تعداد خدمت‌دهنده‌های بیکار مطابق با رابطه (۳)، استفاده می‌شود.

$$v(1-\rho) = \sum_{c=0}^{v-1} (v-c)\pi_{c,v} \qquad (۳)$$

در رابطه بالا ρ برابر با $\frac{E_m \lambda}{v\mu}$ است که E_m برابر با متوسط تعداد تقاضاها در یک تماس است و از طریق $\sum_{t=1}^{m} p_t$ محاسبه می‌شود. در سمت چپ رابطه (۳)، (ρ –۱) بیان کننده احتمال بیکار بودن هر خدمت‌دهنده است. بنابراین حاصلضرب تعداد خدمت‌دهنده‌ها در احتمال بیکار بودن هر خدمت‌دهنده متوسط تعداد خدمت‌دهنده بیکار را به دست می‌دهد. سمت راست رابطه (۳) متوسط تعداد خدمت‌دهنده بیکار را از طریق مجموع حاصلضرب تعداد خدمت‌دهنده بیکار در احتمال آن محاسبه می‌کند. احتمال بیکار بودن $v-c$ خدمت‌دهنده به ازای v–۱, ..., c = ۰, ۱, ۲، معادل احتمال وجود c تقاضا در سیستمی است که دارای v خدمت‌دهنده است. این احتمال با نماد $\pi_{c,v}$ نشان داده می‌شود. با جایگزینی رابطه (۱) در (۳) خواهیم داشت:

$$v(1-\rho) = \sum_{c=0}^{v-1} (v-c) q_c \pi_{0,v} \qquad (۴)$$

تنها مجهول رابطه (۴) مقدار $\pi_{0,v}$ است. بنابراین $\pi_{0,v}$ به کمک رابطه (۵) قابل محاسبه خواهد بود.

$$\pi_{0,v} = \frac{v(1-\rho)}{\sum_{c=0}^{v-1} (v-c) q_c} \qquad (۵)$$

۲-۱-۳ محاسبه متوسط پاسخگویی به هر تماس

هدف مدل ارائه شده در این مقاله بیشینه کردن متوسط تماسهایی است که بلافاصله پاسخگویی می‌شوند. برای محاسبه متوسط پاسخگویی به تماس شامل t تقاضا نیاز است دو وضعیت در نظر گرفته شود. وضعیت اول مربوط به شرایطی است که در آن حداقل t خودروی امدادی بیکار وجود داشته باشد که منجر به پاسخگویی کامل می‌شود و وضعیت دوم در شرایطی است که تعداد خودروهای بیکار در سیستم کمتر از مقدار t باشد که در این

صورت پاسخگویی جزئی صورت گیرد. بنابراین برای محاسبه مقدار متوسط مورد نظر از حالت شرطی بهره گرفته شده است. با استفاده از $\pi_{c,v}$ ، "متوسط پاسخگویی به تماس شامل t تقاضا" را می‌توان به صورت زیر نوشت:

متوسط پاسخگویی به تماس شامل t تقاضا

$$= \left[(1)\times\sum_{c=0}^{v-t}\pi_{c,v}\right]+\left[\sum_{r=1}^{t-1}\left(\frac{r}{t}\right)\times\pi_{v-r,v}\right] \qquad (۶)$$

در رابطه (۶) بخش اول مربوط به پاسخگویی کامل و بخش دوم مربوط به پاسخگویی جزئی است. مطابق این رابطه، ضریب بخش اول با توجه به این که در ارتباط با پاسخگویی کامل است، مقدار یک است. در واقع اگر تماسی شامل t تقاضا به سیستم وارد شود، برای پاسخگویی کامل نیاز است حداقل t خودروی امدادی بیکار باشند. احتمال بیکار بودن حداقل t خودروی امدادی برابر است با احتمال وجود حداکثر v–t تقاضا در سیستم که این مقدار به کمک $\sum_{c=0}^{v-t}\pi_{c,v}$ به‌دست خواهد آمد. اما در صورتی که تعداد خودروی امدادی بیکار برابر با r، که کمتر از تعداد مورد نیاز t است، باشد به اندازه $\frac{r}{t}$ تقاضاها پاسخگویی می‌گردد. احتمال وجود دقیقاً r خودروی امدادی بیکار معادل احتمال وجود دقیقاً r–v تقاضا در سیستم است. بنابراین احتمال پاسخگویی به r تقاضا از t تقاضا از طریق $\pi_{v-r,v}$ قابل محاسبه است.

۳-۲ مدل‌سازی

هدف از مدل ارائه شده در این مقاله این است که تعداد خودروهایی که به هر ایستگاه تخصیص داده می‌شود طوری تعیین گردد تا متوسط پاسخگویی به تماسها حداکثر گردد. برای مدلسازی علائم زیر تعریف شده‌اند:

مجموعه‌ها، اندیسها و پارامترهای مدل

I: مجموعه نواحی تقاضا

J: مجموعه نواحی ایستگاه‌ها

i: اندیس مربوط به نواحی تقاضا

j: اندیس مربوط به ایستگاه‌ها

t: اندیس مربوط به تعداد خودروهای امدادی مورد نیاز هر تماس

v: اندیس مربوط به تعداد خودروی امدادی قرار گرفته در یک ایستگاه

c: اندیس مربوط به تعداد خودروهای امدادی مشغول در یک ایستگاه

r: اندیس مربوط به تعداد خودروهای امدادی بیکار در یک ایستگاه

d_{ij}: فاصله ناحیه i از ایستگاه بالقوه j

k_i: اندیس مربوط به نزدیک‌ترین ایستگاه به ناحیه تقاضای i $N k_i \in J\ , d_{k_i} \le d_j\ ;\ \forall j \in J$: تعداد کل خودروهای امدادی موجود

V_{max}: حداکثر تعداد خودرویی که می‌تواند در یک ایستگاه قرار بگیرد

m: حداکثر تعداد خودروهای مورد نیاز یک تماس

p_t: احتمال این که تماس برقرار شده به t خودروی امدادی نیاز داشته باشد $t = 1,\ldots,m$

λ_i: نرخ تماسهای ورودی از ناحیه i

λ_{it}: تعداد تماسهای ورودی از ناحیه i در واحد زمان که به t خودروی امدادی نیاز دارند $\lambda_{it} = p_t\lambda_i$

$\pi_{c,v,i}$: احتمال مشغول بودن c خودرو از v خودروی امدادی موجود در ایستگاهی که ناحیه i به آن تخصیص یافته است $c = 1,\ldots,V_{max}-1, v = 1,\ldots,V_{max}, i \in I$

متغیرهای تصمیم

X_i: تعداد خودروهای امدادی که در ایستگاه j قرار می‌گیرند.

$$\left.\begin{array}{ll} ۱ & \text{اگر تعداد خودروهای مربوط به نزدیکترین ایستگاه به ناحیه } i \text{ برابر } v \text{ باشد.} \\ ۰ & \text{در غیر این صورت.} \end{array}\right\} = Y_{iv} \quad i \in I, v = 1,\ldots,V_{max}$$

مدل ریاضی

مدل ریاضی تخصیص بهینه خودروها به ایستگاه‌های امدادی به صورت زیر ارائه می‌شود:

$$Maxz = \sum_{i\in I}\sum_{v=1}^{V_{\max}}\sum_{t=1}^{m} Y_{iv}\ \lambda_{it}\left[\left(\sum_{c=0}^{v-1}\pi_{c,v,i}\right)+\left(\sum_{r=1}^{t-1}\left(r/t\right)\pi_{v-r,v,i}\right)\right] \quad (۷)$$

$$st. \quad \sum_{j\in J} X_j \le N \quad (۸)$$

$$\sum_{v=1}^{V_{\max}} Y_{iv} = 1 \qquad \forall i\in I \quad (۹)$$

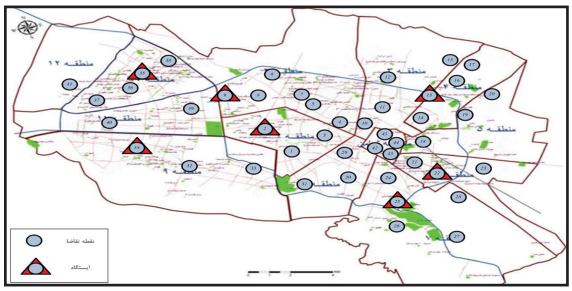
$$\sum_{v=1}^{V_{\max}} vY_{iv} = X_{k_i} \qquad \forall i\in I \quad (۱۰)$$

$$Y_{iv} \in \{0,1\} \qquad \forall i\in I\ , v = 0,1,2,...,V_{\max} \quad (۱۱)$$

معادله شماره (۷) تابع هدف مدل است که به دنبال بیشینه‌سازی متوسط تماسهایی است که بلافاصله پاسخگویی می‌شوند. با توجه به محدودیت (۸) تعداد کل خودروهای امدادی در دسترس محدود در نظر گرفته شده است. محدودیت (۹) نشان می‌دهد که هر ناحیه می‌تواند حداکثر توسط V_{max} خودروی امدادی خدمت دریافت کند. محدودیت (۱۰) نشان می‌دهد که تعداد خودروهای امدادی که می‌توانند به یک ناحیه خدمت‌رسانی کنند می‌بایست برابر تعداد خودروهای استقرار یافته در ایستگاهی باشد که به ناحیه مذکور تخصیص یافته است. همچنین محدودیت (۱۰) نشان می‌دهد که حداکثر تعداد خودروی قرار گرفته در هر ایستگاه نمی‌تواند بیشتر از V_{max} باشد. در نهایت محدودیت (۱۱) بر صفر و یک بودن متغیرهای تصمیم Y_{iv} تاکید می‌کند.

۴. مطالعه موردی

به منظور بررسی کاربردی بودن مدل پیشنهادی در این پژوهش، امداد رسانی به حوادث مرتبط با گاز در شهر مشهد به عنوان مطالعه موردی در نظر گرفته شده است. با توجه به تقسیم‌بندی شهرداری مشهد، شهر مشهد دارای ۱۳ منطقه است. به علاوه هر منطقه به چند ناحیه تقسیم می‌شود، که شهر مشهد را به ۴۵ ناحیه تقسیم می‌کند. با توجه به نقشه توزیع جمعیتی مرکز ثقل این نواحی به عنوان نقاط تقاضا در نظر گرفته می‌شوند (شکل ۱).



شکل ۱. نقشه شهر مشهد به همراه نواحی تقاضا و ایستگاه‌ها

تقاضاهای ایجاد شده در هر ناحیه رابطه مستقیمی با تعداد خانوار آن ناحیه دارد. به همین علت در این مثال با بررسیهای انجام شده، تعداد تماس ماهیانه هر ناحیه برابر با دو و نیم درصد تعداد خانوار همان ناحیه فرض شده است. برای تعیین تعداد خانوار هر ناحیه از نتایج سرشماری نفوس و مساکن سال ۸۵ شهر مشهد بهره گرفته شده است.

با توجه به اطلاعات گذشته، حداکثر خودروی امدادی مورد نیاز برای پاسخگویی به هر تماس برابر با سه (=۳m) خودرو در نظر گرفته شده است. همچنین ۷۰ درصد از تماسها به یک خودروی امدادی نیاز دارند. ۲۰ درصد تماسها به دو خودروی امدادی نیازمند هستند و ۱۰ درصد باقی مانده به سه خودروی امدادی نیاز دارند. بنابراین احتمال رخ دادن حادثه‌ای که به یک، دو و سه خودروی امدادی نیاز داشته باشد به ترتیب برابر با ۰/۷، ۰/۲ و ۰/۱ است. نرخ خدمت برای هر خودروی امدادی برابر با ۴ خدمت بر ساعت بوده و تعداد کل خودروی امدادی در دسترس ۲۱ خودرو است. حداکثر تعداد خودروی امدادی که به هر ایستگاه می‌توان تخصیص داد ۵ خودرو است. در حال حاضر مشهد دارای ۷ ایستگاه امداد گاز شهری است که در نواحی ۲، ۹، ۱۵، ۲۲، ۲۵، ۳۴ و ۳۵ مطابق شکل ۱ قرار گرفته‌اند. نواحی تحت

پوشش هر ایستگاه با توجه به معیار نزدیک‌ترین فاصله زمانی تعیین می‌شود و مطابق آن نرخ تماسهای ورودی به هر ایستگاه مطابق جدول ۱ است.

جدول ۱. نواحی تحت پوشش و نرخ تماسهای ورودی به هر ایستگاه

شماره ایستگاه (j)	نواحی تحت پوشش	نرخ تماسهای ورودی به ایستگاه
۲	۱، ۲، ۳، ۴، ۵، ۷، ۳۳	۴/۵۵
۹	۶، ۸، ۹، ۳۹	۲/۲۶
۱۵	۱۰، ۱۱، ۱۲، ۱۳، ۱۴، ۱۵، ۱۶، ۱۷، ۱۸، ۱۹، ۲۰، ۴۳	۶/۱۴
۲۲	۲۱، ۲۲، ۲۳، ۲۴، ۴۲، ۴۴،۴۵	۲/۲۵
۲۵	۲۵، ۲۶، ۲۷، ۲۸، ۲۹، ۳۰، ۳۱	۳/۳۶
۳۴	۳۲، ۳۴، ۴۰	۲/۲۶
۳۵	۳۵، ۳۶، ۳۷، ۳۸، ۴۱	۲/۱۳

بر اساس نرخ ورودی به هر ایستگاه می‌توان مقادیر $\pi_{c,v}$ مورد نیاز را برای هر ایستگاه و به ازای مقادیر مختلف c و v محاسبه کرد که نتایج در جدول ۲ آمده است. عدد صفر در جدول ۲ مربوط به شرایطی است که در آن شرط پایداری سیستم صف بر قرار نیست ($\rho \geq ۱$). در این شرایط تمامی خودروها همواره مشغول بوده و احتمال بیکار بودن، صفر است. با توجه به این پارامترها مدل به دست آمده در محیط برنامه‌نویسی Visual ۲۰۱۰ C++ در رایانه شخصی با پردازنده ۲/۲۷ GHz کد نویسی شده و برای حل مدل از ILOG CPLEX/۱۲ استفاده شده است. پس از حل مدل تعداد بهینه خودروی امدادی هر ایستگاه تعیین شده که نتایج آن در جدول ۳ آمده است. در این مسئله، مجموع نرخ تماسهای ورودی از تمامی نقاط تقاضا برابر با ۲۱/۹۴ تماس در ساعت بوده است. مقدار تابع هدف برابر ۱۷/۹۳ به دست آمده است. این به آن معنی است که ۸۱/۶۹ درصد تماسها بلافاصله پاسخگویی می‌شوند.

اگر مسئله مطابق مطالعات پیشین با فرض نیاز هر تماس به یک خودرو حل شود (m=۱) نتایج مطابق جدول ۴ به دست خواهد آمد. حال اگر تخصیص خودروهای امدادی به ایستگاه‌ها مطابق جدول ۴ در نظر گرفته شود، با فرض تقاضای گروهی مقدار تابع هدف برابر ۱۵/۴۳ است، به این معنا که ۷۰/۳۲ درصد تقاضاها بلافاصله پاسخگویی خواهند شد.

اختلاف ۱۱/۳۷٪ در سطح پاسخگویی اختلافی معنادار است. بنابراین می‌توان نتیجه گرفت که فرض ساده کننده ارسال یک خودروی امدادی برای یک تماس، تا حد زیادی موجب انحراف جواب از حالت واقعی می‌گردد. بنابراین جواب حاصل بهینه نبوده و درصد پاسخگویی به تماسها غیرواقعی خواهد بود.

جدول ۳. تعداد بهینه خودروهای امدادی هر ایستگاه

شماره ایستگاه	تعداد خودروی امدادی در ایستگاه
۲	۵
۹	۲
۱۵	۵
۲۲	۳
۲۵	۲
۳۴	۲
۳۵	۲

جدول ۴. تعداد خودروهای امدادی هر ایستگاه با فرض یک خودرو برای هر تماس

شماره ایستگاه	تعداد خودروی امدادی در ایستگاه
۲	۴
۹	۲
۱۵	۵
۲۲	۳
۲۵	۲
۳۴	۳
۳۵	۲

۴-۱ تجزیه و تحلیل پارامترهای اثر گذار بر تابع هدف

به دلیل اینکه فرض شده است هر نقطه تقاضا تحت پوشش یک ایستگاه امدادی قرار می‌گیرد، بنابراین افزایش تعداد ایستگاه‌ها تأثیری در پاسخگویی به تماسها نخواهد داشت. از طرفی روشن است که پاسخگویی به تماسها می‌تواند متاثر از تعداد خودروی

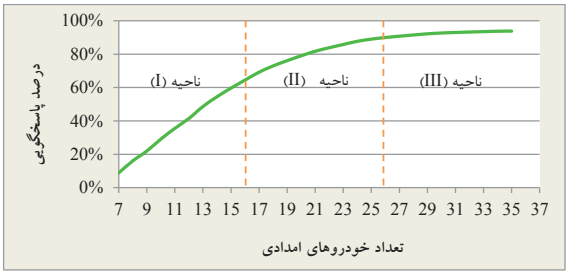
جدول ۲. مقادیر $\pi_{c,v}$ به ازای مقادیر مختلف c و v برای ایستگاههای موجود

شماره ایستگاه (j)	c	v				
		۱	۲	۳	۴	۵
۲	۰	۰	۰/۱۳۰۱	۰/۲۳۱۲	۰/۲۵۲۹	۰/۲۵۸۴
	۱		۰/۱۴۷۹	۰/۲۶۲۹	۰/۲۸۷۶	۰/۲۹۳۸
	۲			۰/۱۸۸۹	۰/۲۰۶۶	۰/۲۱۱۱
	۳				۰/۱۲۰۶	۰/۱۲۳۲
	۴					۰/۰۶۱۴
۹	۰	۰/۳۴۹۰	۵۴۷۳	۰/۵۷۱۸	۰/۵۷۵۹	۰/۵۷۶۶
	۱		۲۵۴۵	۰/۲۶۵۹	۰/۲۶۷۸	۰/۲۶۸۱
	۲			۰/۱۰۱۷	۰/۱۰۲۴	۰/۱۰۲۶
	۳				۰/۰۳۷۳	۰/۰۳۷۳
	۴					۰/۰۱۱۰
۱۵	۰	۰	۰	۰/۱۱۳۹	۰/۱۴۹۰	۰/۱۵۸۶
	۱		۰	۰/۱۷۴۸	۰/۲۲۸۷	۰/۲۴۳۴
	۲			۰/۱۶۰۳	۰/۲۰۹۸	۰/۲۲۳۲
	۳				۰/۱۵۰۰	۰/۱۵۹۶
	۴					۰/۰۹۶۳
۲۲	۰	۰/۲۱۲۷	۰/۴۷۳۳	۰/۵۰۶۷	۰/۵۱۲۶	۰/۵۱۳۷
	۱		۰/۲۶۶۲	۰/۲۸۴۹	۰/۲۸۸۲	۰/۲۸۸۹
	۲			۰/۱۲۲۹	۰/۱۲۴۳	۰/۱۲۴۶
	۳				۰/۰۴۹۱	۰/۰۴۹۲
	۴					۰/۰۱۶۲
۲۵	۰	۰/۱۷۵۷	۰/۴۵۴۱	۰/۴۹۰۱	۰/۴۹۶۶	۰/۴۹۷۹
	۱		۰/۲۶۷۴	۰/۲۸۸۶	۰/۲۹۲۴	۰/۲۹۳۱
	۲			۰/۱۲۸۲	۰/۱۲۹۹	۰/۱۳۰۳
	۳				۰/۰۵۲۵	۰/۰۵۲۶
	۴					۰/۰۱۷۸
۳۴	۰	۰/۲۰۸۰	۰/۴۷۰۸	۰/۵۰۴۶	۰/۵۱۰۵	۰/۵۱۱۷
	۱		۰/۲۶۶۴	۰/۲۸۵۴	۰/۲۸۸۸	۰/۲۸۹۵
	۲			۰/۱۲۳۵	۰/۱۲۵۰	۰/۱۲۵۳
	۳				۰/۰۴۹۵	۰/۰۴۹۶
	۴					۰/۰۱۶۴
۳۵	۰	۰/۲۵۳۱	۰/۴۹۴۶	۰/۵۲۵۳	۰/۵۳۰۶	۰/۵۳۱۶
	۱		۰/۲۶۳۹	۰/۲۸۰۲	۰/۲۸۳۱	۰/۲۸۳۶
	۲			۰/۱۱۶۸	۰/۱۱۸۰	۰/۱۱۸۲
	۳				۰/۰۴۵۵	۰/۰۴۵۶
	۴					۰/۰۱۴۶

امدادی، نرخ خدمت، نرخ ورود تماسها و حداکثر تعداد خودروی هر ایستگاه باشد. بنابراین تغییر هر یک از این مقادیر موجب تغییر در مقدار تابع هدف خواهد شد. از این رو به منظور بررسی تأثیر این پارامترها بر مقدار تابع هدف، تحلیل حساسیت پارامترهای یادشده در این بخش انجام می‌گیرد.

اثر تعداد خودروهای امدادی

واضح است که با افزایش تعداد خودروهای امدادی متوسط پاسخگویی به تماسها افزایش خواهد یافت. شکل ۲ درصد پاسخگویی بلافاصله به تماسها را برای شهر مشهد، به عنوان تابعی از تعداد خودروی امدادی نشان می‌دهد. به منظور رسم نمودار، تعداد خودروی امدادی از ۷ تا ۳۵ با اختلاف فواصل یک واحد در نظر گرفته شده و ۲۹ مسئله نمونه حل شده است. همان طور که انتظار می‌رفت، افزایش تعداد خودروهای امدادی باعث بهبود در درصد پاسخگویی خواهد شد، اما مشخص است که میزان بهبود دارای روند کاهشی است.

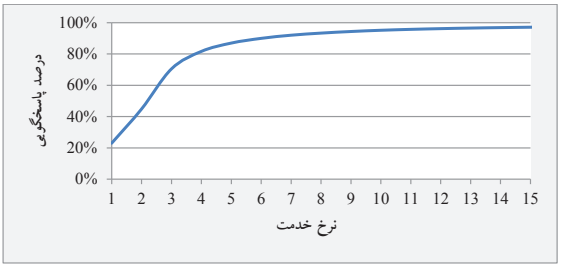


شکل ۲. درصد پاسخگویی بلافاصله به تماس‌ها به عنوان تابعی از تعداد خودروی امدادی

شکل ۲ را می‌توان به سه ناحیه تقسیم کرد. در ناحیه (I)، با افزایش تدریجی خودروها تا ۱۵ عدد می‌توان بهبود چشمگیری در افزایش سطح خدمت‌دهی از ۸٪ تا حدود ۶۰٪ مشاهده کرد. در این ناحیه اضافه کردن هر ماشین به طور متوسط ۶/۳٪ افزایش در درصد پاسخگویی خواهد داشت. بنابراین صرف بودجه در این ناحیه می‌تواند به یکباره رضایتمندی مشتریان را به نحو چشمگیری افزایش دهد. در ناحیه (II)، افزایش تعداد خودروها با شیب کمتری سطح خدمت‌دهی را افزایش خواهد داد، به طوری که با افزایش خودرو از ۱۵ به ۲۵، درصد پاسخگویی به ۸۸ درصد خواهد رسید. در این ناحیه اضافه کردن هر خودرو به طور متوسط باعث افزایش ۲/۹٪ در درصد پاسخگویی خواهد شد. در ناحیه (III)، افزایش تعداد خودرو از ۲۵ تا ۳۵ درصد پاسخگویی را تنها ۴/۸٪ افزایش می‌دهد به گونه‌ای که اضافه کردن هر خودرو به طور متوسط باعث افزایش ۰/۴٪ در درصد پاسخگویی می‌شود. بنابراین با مقایسه هزینه هر خودرو و منافع حاصل از افزایش درصد پاسخگویی، می‌توان به تصمیمگیری مناسب در هر ناحیه پرداخت. همچنین مطابق شکل ۲ می‌توان متناسب با درصد پاسخگویی مورد نظر، تعداد کل خودروی مورد نیاز را به دست آورد.

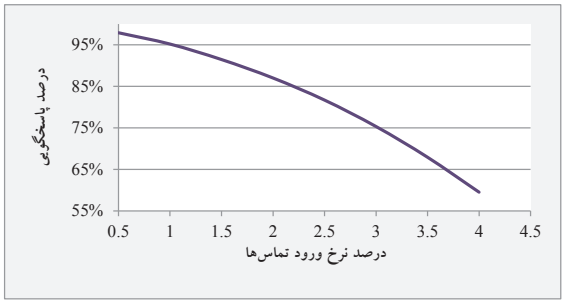
اثر نرخ خدمت

بهبود تجهیزات، استفاده از نیروهای انسانی متخصص‌تر، وجود مسیرهای ویژه حمل‌ونقل اضطراری و مواردی از این قبیل سبب می‌گردد که زمان خدمت‌رسانی به یک حادثه کاهش یافته و در نتیجه نرخ خدمت افزایش یابد. در شکل ۳ نرخ خدمت از ۱ خدمت بر ساعت تا ۲۰ خدمت بر ساعت، با اختلاف فواصل یک واحد افزایش یافته و تأثیر نرخ خدمت بر درصد پاسخگویی به تماسها نشان داده شده است. بقیه شرایط (تعداد خودروها، نرخ ورود و محل ایستگاه‌ها) مطابق شرایط فعلی در نظر گرفته شده است.



شکل ۳. درصد پاسخگویی بلافاصله به تماس‌ها به ازای مقادیر مختلف نرخ خدمت

مطابق شکل ۳، در بازه نرخ خدمت‌رسانی ۱ تا ۴ خدمت بر ساعت، افزایش یک واحدی خدمت بر ساعت به طور متوسط ۱۹/۶٪ بهبود در سطح پاسخگویی ایجاد خواهد شد. این افزایش برای بازه ۴ تا ۹ خدمت بر ساعت برابر ۲/۵٪ و برای بازه ۹ تا ۱۵ خدمت بر ساعت برابر ۰/۳٪ است. به طور مشخص اگر نرخ خدمت از ۴ خدمت بر ساعت (وضعیت فعلی) به ۷ خدمت بر ساعت برسد ۱۰٪ بهبود در سطح پاسخگویی ایجاد خواهد شد. واضح است که افزایش نرخ خدمت نیز برابر صرف هزینه خواهد بود. مقایسه این هزینه با منافع حاصل از افزایش درصد پاسخگویی، می‌تواند در تصمیم‌گیری موثر باشد.



شکل ۴. درصد پاسخگویی بلافاصله به تماس‌ها به ازای بازه‌های مختلف نرخ ورود

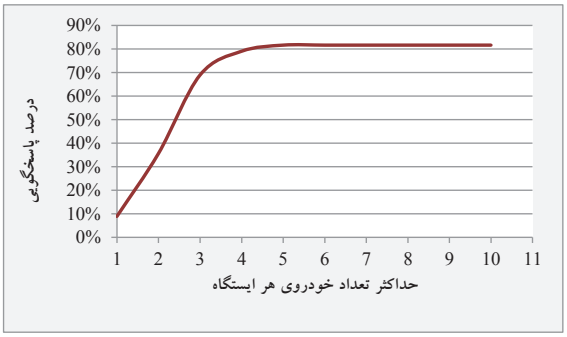
اثر نرخ ورود تماسها

با آموزشهای اجتماعی و فرهنگسازی برای رعایت نکات ایمنی در استفاده از گاز شهری، می‌توان وقوع حوادث را کاهش داد. در وضعیت فعلی فرض شده است که نرخ تماس هر ناحیه برابر با ۲/۵٪ تعداد خانوارهای آن ناحیه است. جهت بررسی تغییر در نرخ ورود تماسها، درصد مورد استفاده از ۰/۵٪ تا ۴٪ با اختلاف فواصل ۰/۵٪ افزایش یافته و به ازای هر یک از هشت حالت ایجاد شده، مسئله حل شده است. در شکل ۴ تغییرات درصد پاسخگویی به تماسها در مقابل درصد تغییرات نرخ ورود تماسها نشان داده شده است. همان طور که در شکل ۴ مشاهده می‌شود با فرض ثابت بودن نرخ خدمت و تعداد خودروی امدادی موجود، افزایش نرخ ورود سبب می‌گردد درصد پاسخگویی روندی کاهشی داشته باشد. با کاهش درصد نرخ ورود تماسها از ۲/۵٪ به ۱/۵٪، درصد پاسخگویی به تماسها حدود ۱۰٪ فزایش خواهد داشت. همچنین در صورت افزایش درصد نرخ ورود تماسها از ۲/۵٪ به ۳٪، حدود ۷٪ افت در درصد پاسخگویی به تماسها قابل مشاهده خواهد بود. بنابراین صرف هزینه بر روی فرهنگ‌سازی تا حدی می‌تواند سطح خدمت‌رسانی در وضع موجود را بهبود بخشد. مقایسه شکل‌های ۲، ۳ و ۴ بیانگر این نکته است که افزایش تعداد خودروی امدادی از ۲۱ خودرو به ۲۸ خودرو معادل افزایش نرخ خدمت از ۴ خدمت بر ساعت به ۷ خدمت بر ساعت و همچنین معادل با کاهش درصد تغییرات نرخ ورود تماسها از ۲/۵٪ به ۱/۵٪ جمعیت خانوارهاست. هر یک از این تغییرات حدوداً ۱۰٪ بهبود در سطح پاسخگویی به تماسها را ایجاد می‌کند. بنابراین با فرض امکان‌پذیر بودن هر یک از این اقدامات، مقایسه هزینه هر یک از آنها می‌تواند گزینه مناسب برای افزایش سطح پاسخگویی را مشخص کند.

اثر حداکثر تعداد خودرو در هر ایستگاه

با در نظر گرفتن ۲۱ خودروی موجود، شکل ۵ درصد پاسخگویی به تماسها را به ازای حداکثر تعداد خودروی هر ایستگاه نشان می‌دهد. مطابق شکل با افزایش حداکثر تعداد خودروی هر ایستگاه از ۱ تا ۵، درصد پاسخگویی افزایش می‌یابد. البته درصورتی که حداکثر تعداد خودروی هر ایستگاه برابر ۱ یا ۲ باشد به دلیل وجود تنها ۷ ایستگاه، تعدادی از خودروهای موجود بلااستفاده باقی خواهند ماند. اگر حداکثر تعداد خودروی هر ایستگاه بیشتر از ۵ در نظر گرفته شود، تأثیری در درصد پاسخگویی نخواهد داشت، به گونه‌ای که درصد پاسخگویی در همان حد ۸۱/۶۹ باقی خواهد ماند. بنابراین در نظر گرفتن حداکثر ۵ خودرو در هر

ایستگاه می‌تواند گزینه بهینه در شرایط فعلی باشد.



شکل ۵. درصد پاسخگویی به تماس‌ها به ازای حداکثر تعداد خودروهای هر ایستگاه

۵. جمع‌بندی و نتیجه‌گیری

در این مقاله مدلی برای تعیین تعداد خودروهای امدادی هر ایستگاه با هدف بیشینه‌سازی متوسط تماسهایی که بلافاصله پاسخگویی می‌شوند، ارائه شد. در این مدل حالتی در نظر گرفته شد که در صورت نیاز بتوان برای هر حادثه بیش از یک خودروی امدادی ارسال نمود. به علاوه در مدل ارائه شده پاسخگویی جزئی نیز در نظر گرفته شد. مدل ارائه شده را می‌توان برای تعیین تعداد خودروهای امدادی ایستگاه‌های آمبولانس، امداد گاز، آتش‌نشانی و یا ایستگاه‌های پلیس استفاده کرد. در این مقاله تعیین تعداد خودروهای امدادی ایستگاه‌های امداد گاز شهری مورد مطالعه قرار گرفت. نتایج نشان داد که در نظر نگرفتن فرض امکان نیاز به ارسال بیش از یک خودروی امدادی برای هر تماس منجر به خطا در تخمین درصد پاسخگویی به تماسها می‌شود. تحلیل حساسیت پارامترها نشان داد که تعداد خودروهای امدادی، نرخ خدمت و درصد نرخ ورود تماسها هر سه می‌توانند تأثیرات قابل توجهی در درصد پاسخگویی به تقاضاها داشته باشند.

برای تحقیقات آتی، می‌توان فرض تخصیص یگانه نواحی تقاضا به ایستگاه‌های امداد را حذف کرد. همچنین می‌توان با توجه به دور شدن ناحیه تقاضا از ایستگاه امداد مربوطه، نرخهای خدمت را متفاوت در نظر گرفت و یا عواملی مانند ترافیک را در تعیین نرخ خدمت مورد توجه قرار داد.

۶. پی‌نوشتها

1- Emergency service vehicle

2- Call center

3- Maximum Expected Covering Location Problem

4- Location Set Covering Problem

5- Maximal Covering Location Problem

6- Double standard model (DSM)

7- Maximum availability location problem

8- Queuing MALP

9- Hypercube

10- Maximal Expected Survival Location Model for Heterogeneous Patients (MESLMHP)

11- First In First Service

۷. مراجع

-Başar, A., Çatay, B. and Ünluyurt, T. (2012) "A taxonomy for emergency service station location problem", Optimization Letters, Vol. 6, pp. 1147-1160.

-Batta, R., Dolan, J. M. and Krishnamurthy, N. N. (1989) "The maximal expected covering location problem: Revisited", Transportation Science, Vol. 23, pp. 277-287.

-Church, R. and ReVeLLe, C. R. (1974) "The maxi-

-Gendreau, M., Laporte, G. and Semet, F. (1997) "Solving an ambulance location model by tabu search" Location science, Vol. 5, pp. 75-88.

-Iannoni, A. P., Morabito, R. and Saydam, C. (2008) "A hypercube queueing model embedded into a genetic algorithm for ambulance deployment on highways", Annals of Operations Research, Vol. 157, pp. 207-224.

-Larson, R. C. (1975) "Approximating the performance of urban emergency service systems", Operations Research, Vol. 23, pp. 845-868.

-Li, X., Zhao, Z., Zhu, X. and Wyatt, T. (2011) "Covering models and optimization techniques for emergency response facility location and planning: a review", Mathematical Methods of Operations Research, Vol. 74, pp. 281-310.

-Marianov, V. and ReVelle, C. (1996) "The queueing maximal availability location problem: a model for the siting of emergency vehicles", European Journal of Operational Research, Vol. 93, pp. 110-120.

-McLay, L. A. (2009) "A maximum expected covering location model with two types of servers", IIE Transactions, Vol. 41, pp. 730-741.

mal covering location problem", Papers in regional science, Vol. 32, pp. 101-118.

-Cromie, M., Chaudhry, M. and Grassmann, W. (1979) "Further results for the queueing system M X/M/c", Journal of the Operational Research Society, pp. 755-763.

-Daskin, M. S. (1983) "A maximum expected covering location model: formulation, properties and heuristic solution", Transportation Science, Vol. 17, pp. 48-70.

-Farahani, R. Z., Asgari, N., Heidari, N., Hosseininia, M. and Goh, M. (2012) "Covering problems in facility location: A review", Computers and Industrial Engineering, Vol. 62, pp. 368-407.

-Galvao, R. D., Chiyoshi, F. Y. and Morabito, R. (2005) "Towards unified formulations and extensions of two classical probabilistic location models", Computers and Operations Research, Vol. 32, pp. 15-33.

-Galvao, R. D. and Morabito, R. (2008) "Emergency service systems: The use of the hypercube queueing model in the solution of probabilistic location problems", International Transactions in Operational Research, Vol. 15, pp. 525-549.

-ReVelle, C. and Hogan, K. (1989) "The maximum availability location problem", Transportation Science, Vol. 23, pp. 192-200.

-Toregas, C., Swain, R., ReVelle, C. and Bergman, L. (1971) "The location of emergency service facilities", Operations Research, Vol. 19, pp. 1363-1373.

-Toro- Díaz, H., Mayorga, M. E., Chanta, S. and Mclay, L. A. (2013) "Joint location and dispatching decisions for Emergency Medical Services", Computers and Industrial Engineering, Vol. 64, pp. 917-928.