

گسترش مدل مکان‌یابی استقرار تسهیلات اضطراری در شبکه‌های حمل و نقل

دکتر سید محمد سید حسینی *

دکتر مهرداداله قلی‌زاده آذری **

چکیده

این مقاله گسترش مدل ریاضی برای مکان‌یابی و تخصیص تسهیلات اضطراری در شبکه‌های حمل و نقل را ارائه می‌کند. بر این اساس دو هدف عمده تعیین مکان تسهیلات اضطراری و تعیین سطح تسهیلات اضطراری مدنظر قرار می‌گیرد. در طراحی مدل مکان‌یابی تسهیلات اضطراری، متفاوت از مدل‌های سنتی، هدف مدل، اتخاذ یک روش بر مبنای ریسک است که توجه خاصی روی احتمال تصادفات و زمان پاسخ اضطراری دارد. این مدل به گونه‌ای طراحی شده که ضمن پوشش کل شبکه بر اساس زمان پاسخ مجاز، ریسک کل را حداقل نماید. در طراحی مدل تعیین نوع تسهیلات اضطراری نیز، هدف مدل، تعیین سطح تسهیلات اضطراری بر مبنای ارزیابی ریسک است. بر این اساس ریسک که بر پایه دو عامل احتمال حادثه و شدت حادثه سنجیده می‌شود بر اساس مشخصه‌های ریسک مورد ارزیابی قرار می‌گیرد. این مدل سعی بر آن دارد تا در مناطقی که دارای ریسک بالاتری هستند، تسهیلات با امکانات بیشتری را توصیه نماید. بطور کلی هر دو مدل تعیین مکان تسهیلات اضطراری و تعیین سطح تسهیلات اضطراری بطور مکمل و یکپارچه به گونه‌ای عمل می‌کنند که با مکان‌یابی مناسب تسهیلات، کل شبکه با تجهیزات مناسب با توجه به شرایط گره‌های شبکه پوشش داده شود.

واژه‌گان کلیدی

تسهیلات اضطراری، مکان تسهیلات اضطراری، سطح تسهیلات اضطراری، ریسک، شدت حادثه، احتمال حادثه، حداکثر ریسک مجاز، حداکثر زمان پاسخ مجاز.

* دانشیار، عضو هیأت علمی دانشگاه علم و صنعت

** عضو هیأت علمی دانشگاه آزاد اسلامی واحد تهران مرکزی

مقدمه

مقوله حمل و نقل و ترافیک در جهان به عنوان هویتی مستقل چه در حوزه علوم مهندسی و چه بعنوان یک مقوله اجتماعی مطرح است. گرچه از تولد این پدیده بیش از یک قرن نمی‌گذرد، اما پیامدهای گوناگون مثبت و منفی آن بسیار فراگیر است و آثار نا مطلوب آن بر زندگی بشر به صورت‌های مختلف اعم از تصادفات منجر به جرح و فوت، اتلاف وقت، آلودگی محیط زیست و هدر رفتن منابع مالی و اقتصادی دیده می‌شود. از طرفی با گسترش زندگی ماشینی و افزایش روز افزون ترافیک در شهرها و جاده‌ها در نیم قرن اخیر، در مقابل فواید اقتصادی و رفاه ناشی از گسترش ارتباطات و سرعت جابجایی کالا و مسافر، متأسفانه بر تعداد و شدت تصادفات ترافیکی به سرعت افزوده شده و ضایعات جانی و مالی ناشی از این تصادفات بار سنگینی بر جامعه بشری تحمیل می‌کند. این اهمیت برای کشورهای در حال توسعه چندین بار بیشتر است زیرا در این کشورها هم بر تعداد وسائط نقلیه و هم بر سرعت آنها افزوده شده و رشد بی‌رویه جمعیت بصورت یک اهرم فشار، ضرورت این افزایش را شدیدتر نموده و در مقابل، کیفیت جاده‌ها و گذرگاه‌های برون شهری و درون شهری متناسب با آن بهبود نیافته است و نتیجتاً تعداد تصادفات در کشورهای مزبور در حال افزایش بوده و هزینه‌های مستقیم و غیر مستقیم آن نیز در مقایسه با کشورهای توسعه یافته بیشتر است.

با توجه به مسئله فوق، یکی از عوامل مهم افزایش تلفات حوادث ترافیکی پس از وقوع تصادف، ضعف امداد رسانی و کمبود تسهیلات اضطراری است. تجربه نشان می‌دهد که پاسخگویی سریع به حوادث ترافیکی، می‌تواند تا ۶۰ درصد از تلفات منجر به فوت جلوگیری کند. این امر می‌تواند با مکان‌یابی و تخصیص مناسب تسهیلات اضطراری میسر شود. بنابراین مسئله مهمی که در این مقاله مورد توجه است استقرار تسهیلات اضطراری مناسب در مکان‌های مناسب در شبکه‌های حمل و نقل است. بر این اساس دو هدف عمده تعیین مکان تسهیلات اضطراری و تعیین سطح تسهیلات اضطراری مد نظر قرار می‌گیرد. لذا با مطالعه همه جانبه مدل‌های موجود و در نظر گرفتن عوامل تأثیرگذار عمده سعی در گسترش مدل مناسب تحقیق خواهیم داشت.

بررسی پیشینه مطالعاتی

در بررسی پیشینه و مبانی نظری تحقیق، ساختار مدل‌های ریاضی مکان‌یابی مورد بررسی قرار می‌گیرد. بسیاری از محققان، مدل‌های مکان‌یابی را به دو دسته «تسهیلات خصوصی» و «تسهیلات عمومی» تقسیم می‌کنند. معیار تفکیک این است که در مدل‌های تسهیلات خصوصی، کل هزینه مانند هزینه حمل و نقل و هزینه ایجاد تسهیلات، در یک تابع هدف قرار داده می‌شود و جهت کمینه‌سازی مجموع آن بررسی می‌گردد. از طرف دیگر، تسهیلات عمومی شامل مسائلی می‌شود که مالک آنها تمامی جامعه است و در نتیجه تابع هدف آنها منعکس کننده استفاده جامعه از تسهیلات است. در این مدل‌ها معمولاً محدودیت سرمایه‌گذاری یا محدودیت تعداد تسهیلات نیز قید می‌شود. از طرفی در استقرار تسهیلات عمومی، اهداف غیر مالی نیز می‌تواند مطرح باشد. برای مثال تاکت^۱ در مقاله خود با مسئله «دسترسی» و «مساوات» در هنگام مکان‌یابی روبرو بوده است. این مقاله مشروح مطالعه موردی است که در آن از روش شبیه سازی برای تولید اطلاعات لازم جهت تعیین محل استقرار بیمارستانها استفاده شده است (Toket, 1989)

ریولی^۲، مارکز^۳ و لیمن^۴ در مقاله‌ای مسایل استقرار و مکان‌یابی را به دو دسته مکان‌یابی بر روی سطح و مکان‌یابی بر روی شبکه تقسیم می‌کنند. (Revelle, Marks & Liebman, 1970) در مکان‌یابی بر روی سطح، فضای قابل قبول از بی‌نهایت نقطه تشکیل شده است و فواصل بین نقاط به شکل حرکت مستقیم و یا پله‌ای تعریف می‌شود. در مکان‌یابی بر روی شبکه، فضای قابل قبول از نقاط و گره‌هایی تشکیل شده است که محل تلاقی کمان‌ها هستند و معمولاً فواصل بین گره‌ها بر اساس زمان یا مسافت، به شکل کوتاهترین مسیر بین دو گره تعریف می‌شود. در یک مطالعه جامع، ریولی، بیگمن^۵، شیلینگ^۶، کوهن^۷ و چورس^۸ مسائل بر روی شبکه را به سه دسته P-Median Set Covering & Maximal Covering

1. Toket
2. Revelle
3. Marks
4. Liebman
5. Begman
6. Schilling
7. Cohon
8. Church

تقسیم بندی می‌کنند که هر یک مدل خاصی را برای حل این مسائل ارائه می‌کند. (Revelle & etal. , 1977)

در مسائل P-Median مکان P وسیله (تسهیلات جدید) بر روی شبکه نقاط تقاضا به گونه‌ای تعیین می‌شود که میانگین زمان حمل و نقل بین تمامی استفاده کنندگان کمینه گردد. اولین روشی که باعث بدست آوردن حل بهینه این مدل گشت توسط ریولی و سوان^۱ ارائه شد. آنها نشان دادند که از برنامه‌ریزی خطی برای یافتن جواب بهینه این مسئله می‌توان استفاده کرد، حتی اگر ابعاد مسئله بزرگ باشد. ژاروینن^۲، راجالا^۳ و سینروو^۴ نیز یک روش شاخه و کران را برای حل مسائل P-Median پیشنهاد کردند. (Jarvinen , Rajala & Sinervo , 1972)

پس از آن، افراد زیادی در دهه‌های ۱۹۸۰ و ۱۹۹۰ روی ابداع مدل‌های مکان‌یابی و طبقه‌بندی کردن و نظام مند کردن مدل‌های مکان‌یابی کار کرده‌اند. بعنوان مثال فرانسیس^۹ مسایل مکان‌یابی را به چهار دسته «مسایل پیوسته روی سطح»، «مسایل گسسته روی سطح»، «مسایل ترکیبی (گسسته و پیوسته) روی سطح» و «مسایل گسسته روی شبکه» تقسیم بندی می‌کند. (Francis , 1992)

همچنین همودا^{۱۱} و دیگران در یکی از تحقیقات خود روش‌های بهینه سازی انتخاب تعداد تسهیلات اضطراری را بر اساس پارامترهای مختلف حوادث توسعه داده‌اند. (Hammouda & etal. , 2001)

با توجه به اینکه مسائل P-Median حداکثر زمان عکس‌العمل را مد نظر قرار نمی‌داد، این کمبود انگیزه‌ای برای توریگاس^۵ بود تا با ویرایش مسئله P-Median و اضافه کردن محدودیت حداکثر زمان عکس‌العمل، مدلی را ارائه دهد که تضمین نماید که هیچ نقطه‌ای دور از مراکز خدمات نباشد. مسئله جدید را Set Covering نامیدند. در این مسائل، حداقل تعداد مراکز تسهیلات همراه با محل استقرار آنها که باعث میشود تا هر نقطه تقاضا بر روی یک شبکه از یک مرکز تسهیلات، S واحد زمانی فاصله داشته باشد، یافته می‌شود. در تحقیقاتی والکر^۶ از مدل Set Covering برای تعیین محل استقرار دو نوع کامیونهای نردبانی که توسط آتش نشانی نیویورک استفاده می‌شد، بهره گرفت. در کاربرد دیگری از این مدل پلان^۷ و هندریک^۸ مسئله محل استقرار ایستگاه‌های آتش نشانی را در شهر دنور آمریکا بررسی کردند. (Plan & Hendrick , 1977)

تعریف اصطلاحات کلیدی

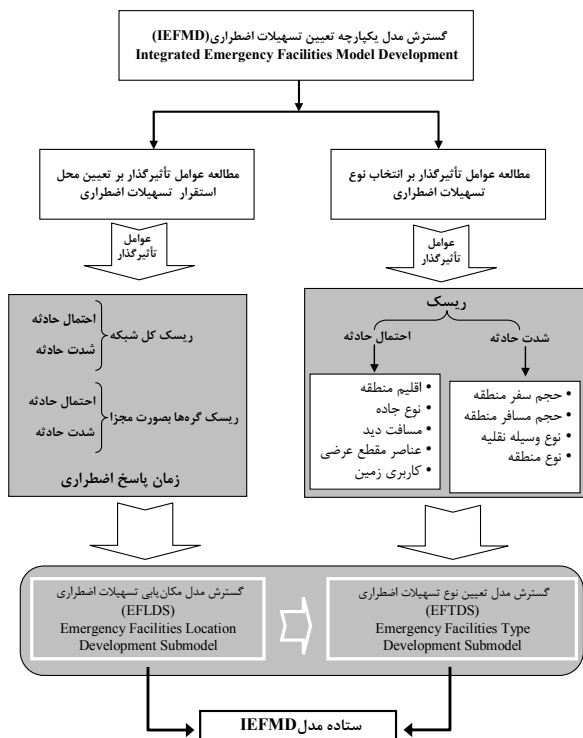
مدل مسائل Maximal Covering نیز اولین بار توسط چورس و ریولی ارائه شد. در این مدل، P وسیله به نقاط مشخص بر روی شبکه به نحوی تخصیص داده می‌شود که تعداد جمعیتی که خدمات را در محدوده‌ای استاندارد، بر اساس زمان یا فاصله دریافت می‌کنند، حداکثر گردد. (Church & Swain , 1977)

اضطرار^{۱۲}: اضطرار هر رویداد و اتفاق غیر برنامه‌ریزی شده است که می‌تواند افراد، اموال یا محیط را در معرض خطر قرار دهد. به عبارتی سبب یک آسیب فیزیکی، محیطی یا مالی شود. رویدادهای متعددی می‌تواند جنبه اضطراری به خود گیرد که یکی از این رویدادها تصادفات در شبکه‌های حمل و نقل است. مدیریت اضطرار^{۱۳}: عبارت است از فرآیندی در جهت آرام کردن، پاسخ دادن و بهبود یک بحران. یک مدیریت اضطراری مناسب به اصلاح روز بروز و همچنین عکس‌العمل مناسب به حادثه و بهبود آن احتیاج دارد.

1. Swain
2. Jarvinen
3. Rajala
4. Sinervo
5. Toregas
6. Walker
7. Plan
8. Hendrick

9. Hogan
10. Francis
11. Hammouda
12. Emergency
13. Emergency management

آستانه‌های^۷ ریسک مجاز و زمان پاسخ مجاز بعنوان محدودیت‌های اصلی مدل استفاده گردیده است. همچنین برای تعیین نوع و سطح تسهیلات اضطراری (EFTDS)^۸ با مطالعات گسترده بدنبال مشخصه‌هایی بوده‌ایم که در افزایش ریسک شبکه که متأثر از احتمال حادثه و شدت حادثه است، مؤثر بوده‌اند. در این راستا، مشخصه‌های حجم سفر منطقه، حجم مسافر منطقه، نوع وسیله نقلیه، نوع منطقه، اقلیم منطقه، نوع جاده، مسافت دید، عناصر مقطع عرضی و کاربری زمین بعنوان مشخصه‌های اصلی مؤثر در ریسک شبکه برای تعیین سطح تسهیلات مورد توجه قرار گرفته‌اند. بطور کلی مدل‌های EFLDS و EFTDS بصورت مکمل و یکپارچه به گونه‌ای عمل می‌کنند که کل شبکه با تجهیزات مناسب با توجه به شرایط شبکه پوشش داده شود. لازم به ذکر است که نمودار چگونگی گسترش مدل یکپارچه تعیین تسهیلات اضطراری بطور خلاصه در شکل (۱) نشان داده شده است.



تسهیلات اضطراری^۱: تسهیلاتی هستند که در هنگام بروز حادثه و یا هر اتفاق غیر برنامه‌ریزی شده بتوانند امداد رسانی مناسب و به موقع را انجام دهند. بعضی از این تسهیلات بصورت استاتیک بوده مانند بیمارستان، درمانگاه، کمپ‌های امداد رسانی و بعضی دیگر از این تسهیلات دینامیک می‌باشد مانند آمبولانس، هلیکوپتر امداد و غیره. لازم به ذکر است که در این تحقیق منظور از تسهیلات اضطراری، تسهیلات استاتیک می‌باشد و تسهیلات دینامیک جزئی از تسهیلات استاتیک محسوب می‌شود.

حادثه^۲: واقعه برنامه‌ریزی نشده و بعضاً صدمه آفرین یا خسارت رسانی که انجام، پیشرفت یا ادامه طبیعی یک فعالیت یا کار را مختل می‌سازد و همواره در اثر یک عمل یا کار نایمن یا شرایط نایمن و یا ترکیبی از آن دو به وقوع می‌پیوندد. ریسک^۳: عبارت است از امکان وقوع حادثه بر حسب احتمال وقوع و شدت آن. (محمد فام، ۱۳۸۰، ۶)

متدولوژی^۴ تحقیق

در این قسمت متدولوژی تحقیق در گسترش مدل یکپارچه تعیین تسهیلات اضطراری (IEFMD)^۵ تشریح می‌شود. بطور کلی برای گسترش IEFMD، عوامل تأثیرگذار بر تعیین محل استقرار تسهیلات اضطراری و عوامل تأثیرگذار بر انتخاب نوع تسهیلات اضطراری بطور همه جانبه مورد مطالعه قرار گرفته است. برای تعیین مدل مکان‌یابی تسهیلات اضطراری (EFLDS)^۶، متفاوت از مدل‌های سنتی و با در نظر گرفتن پارامترهای مؤثر، توسعه مدل بر مبنای ریسک شبکه و گره‌های حادثه‌خیز انجام گرفته است. بر این اساس ریسک کل زمان پاسخ اضطراری بعنوان عوامل اصلی مد نظر قرار گرفته است. در طراحی این مدل، با توجه به اهمیت شبکه و ریسک گره‌ها بصورت مجزا که هر دو متأثر از احتمال حادثه و شدت حادثه هستند و همچنین زمان پاسخ اضطراری و ریسک شبکه، از

1. Emergency Facilities
2. Accident
3. Risk
4. Methodology
5. Integrated Emergency Facilities Model Development
6. Emergency Facilities Location Development Submodel

7. Threshold
8. Emergency Facilities Type Development Submodel

که APV_i حجم مسافر منطقه در محدوده گره i است و HA_i ناحیه خطر است که می‌تواند نتیجه‌ای از حادثه در گره i باشد. ناحیه خطر (HA_i) بستگی به عوامل وابسته متعددی دارد، مثل زمان پاسخ به حادثه، شرایط آب و هوایی و نوع جاده. برای واقع‌پردازی مدل این عوامل و بطور همزمان حفظ مدل در یک سطح قابل کنترل، براساس مطالعات و تحقیقات متعدد می‌توان تابع زیر را برای ناحیه خطر گسترش داد:

$$HA_i = \beta \cdot t_i^\alpha \quad (3)$$

که α و β پارامترهای مدل هستند برای فاکتورهایی از قبیل شرایط آب و هوایی و نوع جاده که در زمان سفر مؤثر هستند و t_i زمان پاسخ اضطراری است. زمان پاسخ اضطراری عبارت است از حداقل زمان سفر برای واحدهای پاسخ اضطراری. t_i را می‌توان بصورت زیر نشان داد:

$$t_i = \min \{T_{ij}\} \quad (4)$$

که T_{ij} عبارت است از حداقل زمان سفر از سایت واحد پاسخ اضطراری i به گره j که می‌تواند از طریق بکارگیری الگوریتم کوتاهترین مسیر محاسبه شود. مسئله مکان‌یابی می‌تواند با فرمول بصورت زیر نشان داده شود:

Min . Total Network Risk =

$$\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n R_{ij} - \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n Pr_i \cdot \beta [\min \{T_{ij}\}]^\alpha \cdot APV_i \cdot X_{ij}$$

Subject To :

$$\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n R_{ij} - \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n Pr_i \cdot \beta [\min \{T_{ij}\}]^\alpha \cdot APV_i \cdot X_{ij} \leq R_{\max}$$

$$\min \{T_{ij}\} \cdot X_{ij} \leq T_{\max}$$

$$(n-1)X_{ii} - \sum_{j=1}^n X_{ij} \geq 0 \quad i=1,2,\dots,n \quad i \neq j$$

$$\sum_{i=1}^n X_{ij} \geq 1 \quad j=1,2,\dots,n$$

$$\sum_{i=1}^n X_{ii} = n$$

$$X_{ij} = \{0,1\}$$

متدولوژی گسترش مدل مکان‌یابی استقرار تسهیلات اضطراری در شبکه‌های حمل و نقل (EFLDS)

در گسترش مدل مکان‌یابی تسهیلات اضطراری، متفاوت از مدل‌های سنتی، هدف مدل، اتخاذ یک روش بر مبنای ریسک است که توجه خاصی روی احتمال تصادفات، زمان پاسخ اضطراری و حجم مسافر منطقه دارد. این مدل یک خط مشی عملی برای ارزیابی مصالحه بین هزینه‌های سیستم (تعداد تسهیلات تخصیصی)، ریسک کل شبکه و آستانه زمان پاسخ ارائه می‌کند. همچنین کاربرد مدل برای یک شبکه حمل و نقل نشان داده می‌شود.

توسعه مدل ریاضی

یک شبکه راه‌جاده‌ای که با یک گراف پیوسته $G(N, A)$ نشان داده شده است، در نظر گرفته می‌شود بطوریکه N مجموعه‌ای از n گره و A مجموعه‌ای از m ارتباط است. بدون دور شدن از اصولی کلی، فرض می‌شود که حوادث راه متمرکز در گره‌های خاص هستند. ارتباطات، اتصال راه بین گره‌ها با متوسط زمان سفر فرض شده را نشان می‌دهد. هدف تخصیص یک مجموعه معین از K واحد پاسخ اضطراری به n گره به منظور حداقل کردن ریسک کل شبکه است ($1 \leq k \leq n$) بطوریکه ریسک و زمان پاسخ از مقادیر آستانه‌شان تجاوز نکند. این مقادیر با R_{\max} و T_{\max} نشان داده می‌شود (R_{\max} حداکثر ریسک مجاز و T_{\max} حداکثر زمان پاسخ مجاز).

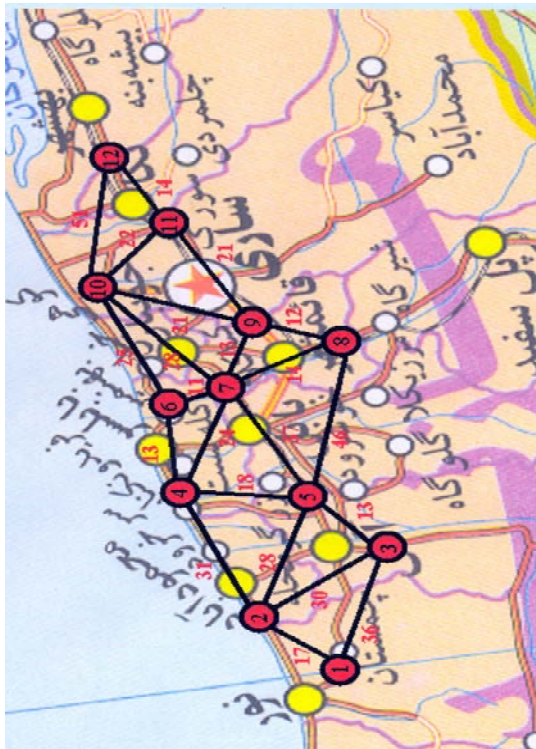
برای فرموله کردن مسئله، ابتدا لازم است که ریسک در هر گره تعریف شود. ریسک عبارت است از امکان وقوع حادثه بر حسب احتمال وقوع و شدت آن. بنابراین ریسک مرتبط با هر گره i با R_i نشان داده می‌شود و با معادله ۱ تعریف می‌شود.

$$R_i = Pr_i \cdot C_i \quad (1)$$

که Pr_i احتمال یا کثرت وقوع حوادث در بخشهای احاطه کننده گره i در جاده است که اطلاعات آن می‌تواند از پایگاه داده‌های حوادث جاده‌ای جمع‌آوری شود. C_i نیز شدت خسارت است که می‌تواند بطور بالقوه نتیجه‌ای از حوادث در گره i باشد. شدت خسارت مرتبط با گره i می‌تواند بصورت زیر بیان شود:

$$C_i = APV_i \cdot HA_i \quad (2)$$

پوشش امداد رسانی از لحظه اطلاع گروههای امدادی ۲۰ دقیقه می باشد، لذا $T_{max} = 20$ تعیین می گردد. برای تعیین R_{max} نیز ابتدا شبکه فوق را با یکی از کاملترین مدل‌های سنتی^۱ که در مکان یابی و تخصیص تسهیلات اضطراری مورد استفاده قرار می گیرد، حل کرده و با توجه به نتیجه بدست آمده مقدار ریسک در این حالت محاسبه شده و بعنوان حداکثر ریسک مجاز در نظر گرفته می شود. این عمل علاوه بر نشان دادن روائی^۲ مدل EFLDS، بیانگر آن است که جواب بهینه در مدل EFLDS ریسک کمتری را نشان خواهد داد. با مشخص شدن ارزشهای پارامترها، ریسک می تواند در تک تک گره‌ها تحت هر حالت تخصیص معین ارزیابی شود و در معادلات مدل بکار رود. در مکان یابی واحدهای پاسخ اضطراری، مسئله با فرض $n = 1$ واحد پاسخ اضطراری حل شده و سپس برای تعداد بیشتری از واحدها ادامه داده می شود تا زمانیکه یک راه حل قابل قبول که شبکه و تک تک گره‌های تابع هدف تحت محدودیتهای مورد نظر را تأمین کند، پیدا شود. بدیهی است که تعداد کمتر واحدهای پاسخ اضطراری نمی تواند یک راه حل قابل قبول برای مسئله باشد، زمانیکه همه گره‌ها در شبکه با حداقل سطح سرویس پوشش داده نشود.



شکل ۲- نمودار شبکه مطالعه حالت

در ذیل یک نمونه شبکه حمل و نقل برای توضیح کاربرد مدل ارائه می شود.

مطالعه حالت

شبکه‌ای شامل ۱۲ گره و ۲۲ اتصال در بخشی از استان مازندران برای نشان دادن مدل تخصیص واحدهای پاسخ اضطراری، همانطوری که در شکل (۲) نشان داده شده است، در نظر گرفته می شود. اعداد بین گره‌ها، فاصله یا مسافت بین گره‌ها را بر حسب کیلومتر نشان می دهد. فاصله یا مسافت اتصالات بر حسب کیلومتر برای تخمین زدن سفر با یک وسیله نقلیه با سرعت ۹۰ کیلومتر در ساعت مورد استفاده قرار می گیرد. حجم مسافر منطقه، احتمال و کثرت وقوع حوادث برای هر یک از گره‌ها در جدول (۱) مشخص شده است.

جدول ۱- احتمال و کثرت وقوع حوادث و حجم مسافر منطقه در گره‌ها

گره #	کثرت وقوع حوادث	احتمال	حجم مسافر منطقه
۱	۱۸	۰/۱۰۳	۲۷۰۰
۲	۲۱	۰/۱۱۲	۲۵۵۰
۳	۲۴	۰/۱۳۷	۲۴۰۰
۴	۱۵	۰/۰۸۶	۲۲۰۰
۵	۱۳	۰/۰۷۴	۱۹۵۰
۶	۱۱	۰/۰۶۳	۸۵۰
۷	۱۶	۰/۰۹۱	۶۵۰
۸	۱۴	۰/۰۸	۲۶۵۰
۹	۸	۰/۰۴۶	۱۹۰۰
۱۰	۱۱	۰/۰۶۳	۶۰۰
۱۱	۱۴	۰/۰۸	۱۱۰۰
۱۲	۱۰	۰/۰۵۷	۸۵۰

برای بکار گیری مدل تخصیص پیشنهادی، ابتدا بایستی پارامترهای α و β تعیین گردند. با توجه به اینکه مسافت‌های طی شده در شبکه بستگی به یکسری عوامل مانند نوع جاده، شرایط آب و هوایی و غیره دارد، بنابراین بر این اساس و با محاسبه زمانها در مسافت‌های مختلف و در شرایط متفاوت جاده ارزشهای زیر برای پارامترهای α و β بدست می آید: $\alpha = 0/01$ و $\beta = 1/5$. همچنین برای تعیین دو عامل

1. Conventional
2. Validity

ارزیابی نتایج مدل EFLDS

ریسک در حدود ۸/۶۹٪. این کاهش در ریسک کل شبکه با اضافه شدن بیشتر واحدهای پاسخ اضطراری کمتر اهمیت پیدا می‌کند (بعد از اضافه شدن چهارمین واحد پاسخ اضطراری). ریسک کل تمایل به سطحی از ۳ واحد پاسخ اضطراری را دارد که گره‌های ۱۱ و ۲ را توصیه می‌کند و یک راه حل مناسب را ارائه می‌دهد که محدودیت‌های مدل را تأمین می‌کند و نتیجه آن در حدود ۸/۶۹٪ کاهش در ریسک کل شبکه است. بدیهی است که افزایش تعداد واحدهای پاسخ اضطراری می‌تواند ریسک کل را به مقدار بیشتری کاهش دهد ولی از طرفی باعث افزایش هزینه‌های سرمایه‌گذاری برای ایجاد و احداث واحدهای تسهیلات اضطراری خواهد شد.

در تحلیل پاسخ‌های مدل، برای آستانه‌های زمان پاسخ و ریسک در نظر گرفته شده، تخصیص کمتر از ۳ واحد پاسخ اضطراری غیر قابل قبول است. به عبارتی در $n=1$ و $n=2$ مدل نمی‌تواند محدودیت‌های عمده مسئله در رابطه با حداکثر ریسک مجاز و حداکثر زمان پاسخ مجاز را پوشش دهد. در $n=3$ واحد پاسخ اضطراری، مدل ضمن پوشش کلیه گره‌ها با تأمین محدودیت‌های مسئله به یک جواب قابل قبول می‌رسد.

همانطوری که در جدول (۲) نشان داده شده است، زمانیکه ۳ واحد پاسخ اضطراری به شبکه اضافه می‌شود، کاهش نسبتاً قابل توجه‌ای در ریسک کل شبکه ایجاد می‌شود (کاهش

جدول ۲- تخصیص واحدهای پاسخ اضطراری براساس مدل EFLDS

واحد پاسخ اضطراری (n)	مکان گره‌ها	پوشش مسیرهای اضافه شده نسبت به قبل	حداقل ریسک کل نرمالیزه	درصد کاهش در ریسک کل	هزینه واحدهای پاسخ اضطراری
۱	غیر قابل قبول	—	—	—	—
۲	غیر قابل قبول	—	—	—	—
۳	۲ و ۱۱	(۲ و ۳ و ۵) و (۱ و ۲ و ۳ و ۵ و ۷ و ۹ و ۱۰ و ۱۱ و ۱۲) و (۹ و ۱۰ و ۱۱ و ۱۲)	۰/۹۱۳	۸/۶۹	C ₃
۴	۲ و ۴ و ۱۱	(۴ و ۵ و ۷) و (۶ و ۸ و ۹)	۰/۸۵۷	۵/۶۱	C ₄
۵	۲ و ۳ و ۴ و ۱۱	(۳ و ۵)	۰/۸۱۲	۴/۴۳	C ₅
۶	۲ و ۳ و ۴ و ۵ و ۱۱	(۳ و ۵)	۰/۷۸۵	۲/۷۷	C ₆
۷	۱ و ۲ و ۳ و ۴ و ۵ و ۱۱	(۱ و ۲)	۰/۷۶۲	۲/۳۱	C ₇
۸	۱ و ۲ و ۳ و ۴ و ۵ و ۷ و ۹ و ۱۱	(۱ و ۱۰ و ۱۱ و ۷ و ۸ و ۹ و ۶)	۰/۷۴۱	۲/۰۶	C ₈
۹	۱ و ۲ و ۳ و ۴ و ۵ و ۷ و ۹ و ۱۱	(۱ و ۱۰ و ۱۱ و ۷ و ۸ و ۹ و ۶)	۰/۷۲۲	۱/۸۹	C ₉
۱۰	۱ و ۲ و ۳ و ۴ و ۵ و ۷ و ۸ و ۹ و ۱۱	(۱ و ۱۰ و ۱۱ و ۷ و ۸ و ۹ و ۶)	۰/۷۰۸	۱/۴۵	C ₁₀
۱۱	۱ و ۲ و ۳ و ۴ و ۵ و ۷ و ۸ و ۹ و ۱۰ و ۱۱	(۱ و ۱۰ و ۱۱ و ۷ و ۹ و ۶)	۰/۶۹۹	۰/۸۵	C ₁₁
۱۲	۱ و ۲ و ۳ و ۴ و ۵ و ۷ و ۸ و ۹ و ۱۰ و ۱۱ و ۱۲	(۱ و ۱۲)	۰/۶۹۵	۰/۴۳	C ₁₂

مناطق مختلف، متفاوت باشد، با ارزیابی این مشخصه‌ها سطح تسهیلات اضطراری تعیین خواهد شد. بنابراین برای تعیین سطح تسهیلات قدم‌های زیر برداشته می‌شود:

- تعیین مشخصه‌های مختلف ریسک در شبکه‌های حمل و نقل
- ارزیابی مشخصه‌های ریسک در مناطق مختلف برای تعیین سطح تسهیلات اضطراری

متدولوژی گسترش مدل تعیین سطح تسهیلات اضطراری در شبکه‌های حمل و نقل (EFTDS)

در مدل EFTDS که برای تعیین سطح تسهیلات اضطراری طراحی گردیده است، هدف مدل تعیین نوع تسهیلات بر مبنای ارزیابی ریسک است. بر این اساس ریسک که بر پایه دو عامل احتمال حادثه و شدت حادثه سنجیده می‌شود، براساس مشخصه‌های مختلف در گره‌های شبکه مورد ارزیابی قرار می‌گیرد. به عبارتی، با توجه به اینکه عوامل ریسک می‌تواند در

جدول ۳- وزن نهائی بدست آمده برای عوامل ریسک

عامل	وزن نهایی
شدت حادثه	۰/۸۷۵
احتمال حادثه	۰/۱۲۵

جدول ۴- وزن نهائی بدست آمده برای مشخصه‌های ریسک نسبت به شدت حادثه

مشخصه	وزن نهایی
حجم سفر منطقه	۰/۰۲
حجم مسافر منطقه	۰/۰۲
نوع وسیله نقلیه	۰/۱۰۵
نوع منطقه	۰/۰۳۳
اقلیم منطقه	۰/۰۵۴
نوع جاده	۰/۳۱
مسافت دید	۰/۱۱۹
عناصر مقطع عرضی	۰/۱۹
کاربری زمین	۰/۰۲۴

جدول ۵- وزن نهائی بدست آمده برای مشخصه‌های ریسک نسبت به احتمال حادثه

مشخصه	وزن نهایی
حجم سفر منطقه	۰/۰۲۹
حجم مسافر منطقه	۰/۰۳۹
نوع وسیله نقلیه	۰/۰۰۴
نوع منطقه	۰/۰۰۲
اقلیم منطقه	۰/۰۰۳
نوع جاده	۰/۰۱۷
مسافت دید	۰/۰۰۷
عناصر مقطع عرضی	۰/۰۱۴
کاربری زمین	۰/۰۱

با توجه به وزنهای بدست آمده برای هر یک از معیارها می‌توان سطح تسهیلات را در مناطق مختلف مشخص کرد. به عبارتی با توجه به اینکه مشخصه‌های ریسک در مناطق مختلف، متفاوت است، با ارزیابی این مشخصه‌ها در هر منطقه و با تخصیص وزنهای مربوط به تئپهای مناسب تسهیلات، سطح تسهیلات اضطراری تعیین خواهد شد. بطور کلی بایستی اذعان داشت که مدل EFTDS با توجه به محدودیتهای مالی و سرمایه‌گذاری، در مناطقی که دارای ریسک بالایی در حوادث هستند تسهیلات مجهزتر و کامل‌تری را تخصیص می‌دهد.

پس از بررسی و مطالعات همه جانبه و همچنین اطلاعات جمع‌آوری شده از کارشناسان وزارت راه و ترابری، پلیس راه، سازمان حمل و نقل و پایانه‌های کشور و هلال احمر، مشخصه‌های زیر بعنوان عواملی که می‌توانند احتمال حادثه و شدت حادثه را تحت تأثیر قرار دهند و نتیجتاً باعث افزایش ریسک گردند، مورد توجه قرار گرفت. این مشخصه‌ها عبارتند از:

حجم سفر منطقه، حجم مسافر منطقه، نوع وسیله نقلیه، نوع منطقه، اقلیم منطقه، نوع جاده، مسافت دید، عناصر مقطع عرضی و کاربری زمین. براساس این مشخصه‌ها، مدل سلسله مراتبی تعیین سطح تسهیلات اضطراری مطابق شکل (۳) طراحی گردیده است. در این مدل ۳ تیپ A, B, C برای تسهیلات اضطراری در نظر گرفته شده است. تیپ A در سطح بیمارستان است که کاملترین نوع مراکز امدادی است و این مراکز قادرند کلیه امور درمانی را به عهده گیرند. تیپ B در سطح درمانگاه است که از بیمارستان‌ها کوچکتر بوده و قادر به ارائه فعالیت درمانی کامل به مجروحین حوادث نیست و تنها می‌تواند تعداد بیشتری مصدوم را پذیرش نموده و فعالیت‌های درمانی اولیه را انجام دهد. تیپ C نیز در سطح کمپ‌های امدادی است که تنها قادر به ارائه کمک‌های اولیه به مصدومین حوادث است.

در مدل EFTDS برای ارزیابی مشخصه‌ها، از یکی از تکنیک‌های تصمیم‌گیری‌هایی چند شاخصه (MADM) بنام فرآیند تحلیل سلسله مراتبی استفاده شده است. این تکنیک ضمن ایجاد یک ساختار سلسله مراتبی برای مسئله، با برقراری ترجیحات از طریق مقایسات زوجی و در نظر گرفتن سازگاری منطقی از اندازه‌گیری‌ها، سعی بر آن دارد تا در مناطقی که دارای ریسک بالایی در تصادفات هستند تسهیلات مجهزتر و کاملتری را توصیه نماید. برای استفاده از این تکنیک از نرم‌افزار EC^۲ که جهت تحلیل مسائل تصمیم‌گیری چند معیاره با استفاده از تکنیک فرآیند تحلیل سلسله مراتبی طراحی شده، استفاده گردیده است.

با اطلاعات جمع‌آوری شده از کارشناسان وزارت راه و ترابری، سازمان حمل و نقل و پایانه‌های کشور، هلال احمر و پلیس راه وزنهای نهائی برای هر یک از معیارها در مدل سلسله مراتبی تعیین سطح تسهیلات اضطراری مطابق جدول (۳)، (۴) و (۵) بدست آمده است.

1. Multiple Attribute Decision Making
2. Expert Choice

نتیجه‌گیری

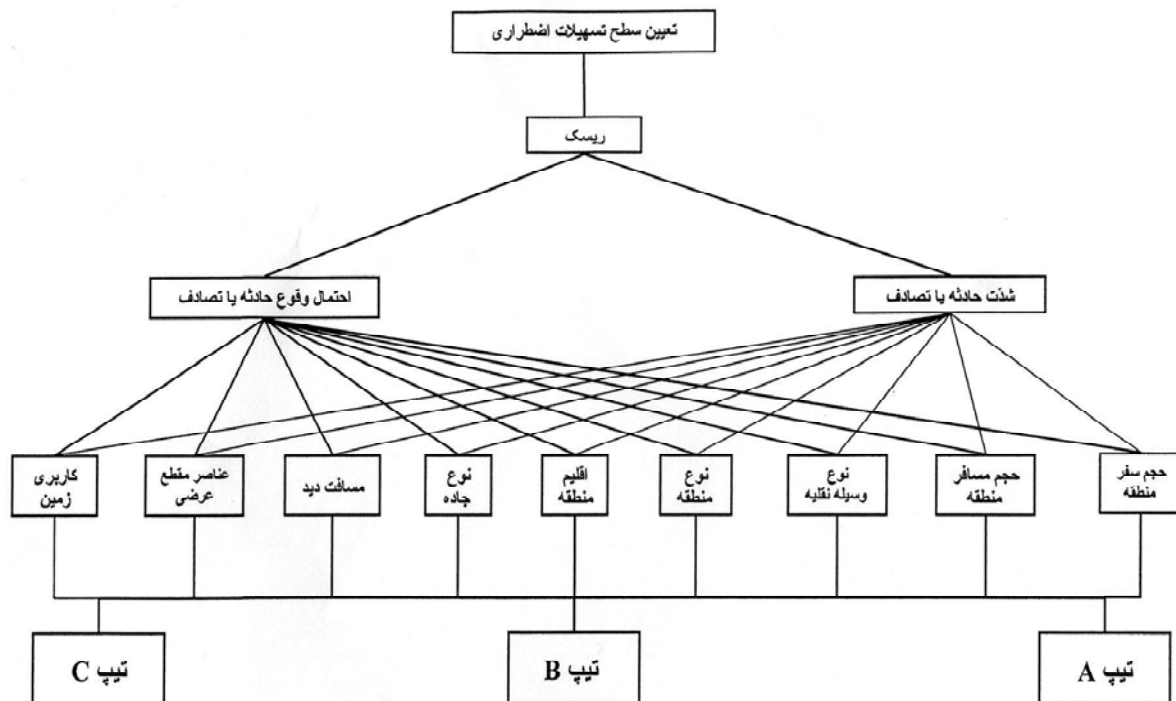
تا کنون مدل‌های مختلفی برای مکان‌یابی و تخصیص تسهیلات اضطراری پیشنهاد شده است ولی در هیچیک از این مدل‌ها از عامل ریسک در طراحی مدل استفاده نگردیده است. از طرفی مفهوم احتمال حادثه و شدت حادثه بعنوان عوامل افزایش ریسک، مفاهیم جدیدی بوده است که در مکان‌یابی و تخصیص تسهیلات اضطراری در این مقاله مورد استفاده قرار گرفته است. در این مقاله با طراحی مدل بر مبنای ریسک و بکارگیری آن، یافته‌های مهم زیر مورد توجه قرار می‌گیرد:

۱- افزایش تعداد واحدهای پاسخ اضطراری باعث بالا رفتن هزینه و کاهش ریسک کل می‌گردد. بنابراین سطح معینی از واحدهای پاسخ اضطراری که بتواند محدودیتهای مدل را پوشش دهد، ضمن ایجاد تعادل بین هزینه و ریسک، می‌تواند جواب بهینه‌ای برای مدل باشد.

۲- برای ریسک شبکه مشابه، می‌توانیم واحدهای پاسخ اضطراری کمتر را در مقابل زمانهای پاسخ بیشتر مصالحه کنیم.

۳- تجزیه و تحلیل مدل پیشنهادی نشان می‌دهد که سطح معینی از تعداد واحدهای پاسخ اضطراری، کاهش قابل توجه‌ای در ریسک کل شبکه ایجاد می‌کند. به عبارتی ریسک کل به سطح حرکت کندتری بعد از تخصیص تعداد معینی از واحدهای پاسخ اضطراری منجر می‌شود. این مسئله به این موضوع اشاره دارد که اضافه کردن واحدهای پاسخ بیشتر به شبکه همیشه نمی‌تواند از لحاظ هزینه نتیجه مثبت و سودمندی داشته باشد.

۴- در مدل تعیین سطح تسهیلات اضطراری با استفاده از عامل ریسک و مفاهیم شدت حادثه و احتمال حادثه، ضمن ایجاد یکپارچگی با مدل تعیین مکان‌یابی تسهیلات، مدل با ارزیابی مشخصه‌های افزایش ریسک، در مناطقی که دارای ریسک بالایی در حوادث هستند تسهیلات مجهزتر و کاملتری را توصیه می‌کند.



شکل ۳- مدل سلسله مراتبی تعیین سطح تسهیلات اضطراری

منابع

- ۱- محمد فام، ایرج؛ مهندسی ایمنی (تکنیکهای شناسائی، ارزیابی و کنترل خطرات در محیطهای صنعتی)؛ نشر فن آوران، چاپ اول، ۱۳۸۰.
- 2- Aykin T, Brown G.F. (1992) "Introducing New Facilities and Location–Allocation Problems", *Transportation Science*, Vol. 26, No. 3.
- 3- Church R., Revelle C. (1974) "The Maximal Covering Location Problem", *Pap. Reg. Sci. Assoc.*
- 4- Francis R. L, White J. A. (1992) "Facility Layout and Location", Prentice Hall, Newjersey.
- 5- Hammouda G., Saccomanno F., Fu L. (2001) "Allocating Emergency Response Facilities", *Proceedings of the Canadian Transportation Research Forum Annual Meeting, Vancouver, B.C.*
- 6- Hogan K., Revelle C. (1986) "Concepts and Applications of Backup Coverage", *Management Science*, Vol. 32, No. 11.
- 7- Jarvinen P., Rajala J., Sinervo H. (1972) "A Branch and Bound Algorithm for Seeking the P-Median", *Operations Research*, Feb.
- 8- List G. (1993) "Sitting Emergency Response Teams : Tradeoffs Among Response Time , Risk , Risk Equity and Cost", In Leon N. Moses, Dan Lindstrom, *Transportation of Hazardous Materials* , 117-133.
- 9- Mehrez A., Sinuany-Stern Z., Drad-Geva T., Binyamin S. (1996) "On the Implementation of Quantitative Facility Location Models : The Case of a Hospital in a Rural Region", *Journal of the Operational Research Society* , Vol . 47.
- 10- Plan D.R., Hendrick T.E. (1977) "Mathematical Programming and the Location of Fire Companies for the Denver Fire Department", *Operations Research* , Vol. 25, No. 4.
- 11- Revelle C., Bigman D., Schilling D., Cohon J., Church R.(1977) "Facility Location : A Review of Context Free and EMS Models", *Health Services Research* , No. Summer.
- 12- Revelle C., Marks D., Liebman J.C. (1970) "An Analysis of Private and Public Sector Location Models" , *Management Science* , Vol. 16, No. 11.
- 13- Rhyne W. R.,(1994) "Hazardous Materials Transportation Risk Analysis : Quantitative Approaches for Truck and Train" , New York : Van Nostrand Reinhold.
- 14- Swersey A., Thakur L.S. (1995) "An Integer programming Model for Locating Vehicle Emissions Testing Station" , *Management Science*, Vol. 41, No. 3.
- 15- Toket A.R. (1989) "Equity and Access : Exploring the Effects of Hospital Location on the Population Served – A Case Study in Strategic Planning", *Journal of Operational Research* , Vol. 40 , No. 11.
- 16- Toregas C., Swain R., Revelle C, Bergman L. (1971) "The Location of Emergency Service Facility" , *Operations Research* , Oct.