



مدل سازی مساله حداکثر پوشش با در نظر گرفتن پوشش جزئی و ظرفیت تسهیلات در مکانیابی بهینه پایگاه های امداد (مطالعه موردی: محور سندج - بانه)

حامد عارفی^۱، سید ابراهیم عبدالمنافی^۲

۱- دانشجوی کارشناسی ارشد عمران، دانشکده فنی و مهندسی، واحد تهران شمال، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران

۲- دکتری مهندسی عمران، مهندسی و برنامه ریزی حمل و نقل.

چکیده

تصادفات جاده ای همواره خسارات مالی و جانی فراوانی را به جامعه وارد ساخته است. از جمله اهداف برنامه مدیریت حوادث جاده ای که به منظور کنترل و کاهش آثار تصادفات جاده ای تدوین گردیده است، رسیدگی به موقع و کارا به حوادث رخ داده در کمترین زمان ممکن است. این وظیفه بر عهده نیروهای امداد رسان قرار داده شده است. از مهمترین عوامل در کاهش زمان رسیدگی به مجروحین، موقعیت پایگاه های اورژانس می باشد. هر اندازه پایگاه های اورژانس به محل وقوع تصادفات نزدیکتر باشند، حضور نیروهای امداد رسان با سرعت بیشتری صورت خواهد پذیرفت. در برخی کشورها مانند ایران که آمار تصادفات بسیار بالا می باشد، مدیریت حوادث جاده ای بسیار پرهزینه و با محدودیت های مالی فراوان مواجه است. در این پژوهش تلاش گردیده است تا با توجه به داده های آماری تصادفات در طول راه های کشور، به ارائه مدلی به منظور مکانیابی پایگاه های امداد اورژانس جاده ای با هدف امداد رسانی به بیشترین تعداد مجروحین و با در نظر گرفتن شدت تصادفات و با لحاظ نمودن محدودیت های بودجه ای پرداخته شود. پیاده سازی عملی مدل برنامه ریزی ریاضی ارائه شده برای این منظور، نشان از افزایش چشمگیر خدمت رسانی در حوادث جاده ای و کارایی مدل دارد.

کلید واژه: مکانیابی، مدل های پوششی، پایگاه اورژانس، الگوریتم ژنتیک، مدل پوششی ظرفیت دار.



^۱ hamedarefi57@yahoo.com

^۲ مدرس دانشگاه، abdolmanafi@alumni.iust.ac.ir

از حوادث عمده غیرطبیعی که همه ساله جان عده زیادی را گرفته و خانواده‌های زیادی را داغدار می‌کند، حوادث جاده‌ای است. به طوری که بر پایه گزارش سازمان جهانی بهداشت، در سال ۲۰۱۰ میلادی تلفات ناشی از حوادث جاده ای باعث مرگ حدوداً ۱/۲۴ میلیون نفر انسان شده است [۱]. هر چند که در سال‌های اخیر و با توجه به تدابیر اندیشیده شده در این زمینه، شاهد کاهش تلفات جاده‌ای هستیم اما مقایسه‌ی آمار کشور ما با آمار ارائه شده در سراسر جهان نشان از نیاز به تلاش جدی در این زمینه دارد. موضوعی که در این مقاله مورد بررسی و تاکید قرار خواهد گرفت، بهبود عملکرد و افزایش کارایی سیستم امدادسانی در موضوع مدیریت حوادث جاده‌ای از طریق مکانیابی بهینه پایگاه‌های امدادسانی است.

این آمار در کشور ما نیز نتایج به مراتب وخیم‌تری را نشان می‌دهد. با وجود اینکه جمعیت کشور ما کمتر از یک درصد کل جمعیت جهان است، اما درصد تلفات جاده ای کشور حدود ۲ درصد تلفات جهانی و حدود یک و نیم برابر متوسط جهانی است [۱]. طبق برآوردهای سازمان ملل متحد، تا سال ۲۰۲۲ آمار تلفات جاده‌ای کشورهای در حال توسعه بین ۵۶ تا ۸۰ درصد افزایش می‌یابد و بر این اساس در صورت عدم برنامه‌ریزی صحیح و با توجه به رشد فزاینده حمل و نقل، تلفات جاده‌ای ایران در سال ۱۳۹۹ حدود ۴۰,۰۰۰ نفر و مجروحین حدود ۵۲۰,۰۰۰ نفر خواهد بود [۲]. براساس آمارهای رسمی سازمان بهداشت جهانی در سال ۲۰۱۳، ایران به ازای هر صد هزار نفر جمعیت، پنجمین کشور دنیا از لحاظ مرگ و میر و تلفات رانندگی است و در کنار کشورهای چون اریتره، مصر، لیبی، افغانستان، عراق، انگولا، نیجر و گامبیا و در گروه کشورهای با وضعیت قرمز قرار دارد [۳]. مقایسه آمار با کشورهای توسعه‌یافته نیز نشان می‌دهد میزان تلفات جاده‌ای در ایران ۵ تا ۱۰ برابر کشورهای چون ژاپن، سوئد، دانمارک و اتریش است [۳]. با توجه به آمارهای موجود، تنها در حدود ۳۵ درصد از مجروحین توسط نیروهای امدادسان به مراکز درمانی انتقال می‌یابند و این امر به دلیل نبود پوشش لازم و کافی امدادی توسط پایگاه‌های اورژانس بر روی شبکه جاده‌ای کشور است.

در حال حاضر مکانیابی پایگاه‌های اورژانس در روی شبکه حمل و نقل جاده‌ای بر اساس نظرات کارشناسی و تجربیات افراد مسئول صورت پذیرفته و از هیچ مدل خاصی که شاخص‌ها و معیارهای آن قابل اندازه‌گیری باشند، استفاده نمی‌شود. این مقاله به دنبال آن است تا با ارائه مدلی مناسب بر اساس معیارهای مطلوب و کارا برای مکانیابی مراکز امدادسانی و توزیع عادلانه این نیروها در سطح راه‌های کشور بتوان سبب کاهش زمان امدادسانی و کاهش تلفات جاده‌ای و در نهایت افزایش کارایی نیروهای امدادسان در مدیریت حوادث جاده‌ای در کشور شد.

۲- تعریف مسأله و اهداف تحقیق

هدف مساله مکانیابی، یافتن بهترین مکان برای استقرار تسهیلات است. مکان بهینه در این مسائل به معیارهایی از جمله هزینه‌های احداث، نزدیکی به نقاط تقاضا و میزان پوشش و غیره بستگی دارد. در مساله مکانیابی-تخصیص علاوه بر تعیین مکان بهینه تسهیلات، نقاط تقاضا نیز باید به یک یا چند تسهیل اختصاص یابند. مکانیابی و تخصیص نادرست تسهیلات می‌تواند کارایی سیستم در ارائه خدمات را به شدت تحت تأثیر قرار دهد.

به طور کلی برای انجام مکانیابی از دو روش انتخاب نقاط نمونه و پردازش‌های آماری و ریاضی و یا پردازش توأمان داده‌های جغرافیایی جهت انتخاب مکان مناسب برای کاربری خاصی صورت می‌گیرد. مکان‌یابی بر اساس پارامترهای مختلفی انجام می‌گیرد که این متغیرها نسبت به اهداف و اهمیت پروژه و یا عوامل جانبی مؤثر در پروژه، از قبیل دسترسی به امکانات زیر بنایی و غیره تغییر خواهند نمود. در واقع نمی‌توان یک دستورالعمل برای تمامی پروژه‌ها و کاربردها تعریف نمود و می‌بایست ابتدا کاربردها و عوامل مؤثر در انتخاب مکان آن‌ها استخراج گردیده و سپس براساس عوامل فوق دستورالعمل‌های لازم جهت مکان‌یابی تهیه گردد.

عوامل تعیین کننده در مکان‌یابی مراکز امداد اورژانس، به عنوان موضوع اصلی این مقاله، عواملی چون میزان پوشش دهی به تقاضای بیشتر، پوشش نقاط با احتمال بروز تصادفات بیشتر، میزان زمان دسترسی به مراکز درمانی، وضعیت ترافیک معبر، وجود فضای فیزیکی مناسب، عدالت اجتماعی و غیره می‌باشند.

همچنین در انجام هر مطالعه مکانیابی مجموعه‌ای از مفروضات بر روی هر یک از عوامل مؤثر بر مطالعه در نظر گرفته می‌شود. مفروضات انجام این مطالعه عبارتند از:

- زمان به عنوان اصلی‌ترین فاکتور برای بررسی عملکرد سیستم امداد رسانی در نظر گرفته شده است. از آنجاییکه موقعیت پایگاه‌های امداد رسانی، مهمترین عامل در کاهش زمان امداد رسانی است، بنابراین مکانیابی بر مبنای رسیدگی به بیشترین مصدومین، در کمترین زمان ممکن خواهد بود.
- میزان مجروحین و کشته‌های ناشی از تصادفات به عنوان تقاضای سیستم امداد رسانی فرض شده است. این تقاضا براساس داده‌های آماری پیشین معلوم بوده و در مدلسازی لحاظ خواهد شد.
- مؤلفه‌ی عدالت اجتماعی ایجاب می‌کند تا براساس شدت سوانح و میزان مجروحیت به مجروحین رسیدگی شود. از این رو با در نظر گرفتن داده‌های آماری در هر منطقه، و دسته‌بندی مجروحین بر مبنای شدت جراحت، مؤلفه عدالت در تعیین مکان بهینه مورد ملاحظه قرار می‌گیرد.
- به دلیل محدودیت‌های مکانی در تعیین محل پایگاه‌ها، نقاطی به عنوان نامزد در نظر گرفته شده است.
- محدودیت‌های بودجه‌ای بصورت محدودیت تعداد تسهیلات بر روی شبکه در نظر گرفته شده است.
- هر یک از پایگاه‌های امداد دارای ظرفیت مشخص بوده و تخصیص براساس ظرفیت صورت می‌پذیرد.

برای انجام این مطالعه، ابتدا ادبیات موضوع و پیشینه تحقیقات به طور دقیق مورد بررسی قرار گرفته و نقاط ضعف و قوت آنها شناسایی خواهد شد. سپس با توجه به عوامل اصلی، با طراحی یک مدل بهینه‌سازی ریاضی، جواب بهینه مدل به عنوان مکان بهینه ارائه خواهد شد. با توجه ماهیت مدل پیشنهادی و کارایی بالای روش‌های فراابتکاری در حل مسائل پیچیده، الگوریتم ژنتیک برای حل این مدل انتخاب گردیده است. لازم به توضیح است فرایند حل مدل مورد نظر در برنامه متلب انجام پذیرفته و نتایج مدل با فرایندهای موجود، ناشی از نظرات کارشناسی در مکانیابی مورد بررسی و مقایسه قرار گرفته است.

۳- مروری بر پیشینه تحقیقات

همواره مکانیابی ایستگاه‌های وسایل نقلیه اضطراری به عنوان یک مساله استراتژیک از دهه ۶۰ میلادی مورد توجه برنامه‌ریزان پایگاه‌های خدمات درمانی اضطراری^۱ بوده است. مدل‌های مکانیابی جهت کاهش هزینه این سیستم از طریق مینیمم کردن تعداد وسائل نقلیه (آمبولانس‌ها) و یا ایستگاه‌های آن، یا مهیا ساختن حداکثر سرویس پوششی از طریق تعداد معین آمبولانس‌ها (ایستگاه‌ها) به طور مستمر توسعه داده شده است [۵].

به طور معمول، مسائل مربوط به مکانیابی تسهیلات اضطراری از دو جنبه مکان‌های تسهیلات و ظرفیت هر یک از تسهیلات، مورد بررسی قرار می‌گیرند [۴].

مدل‌های برنامه‌ریزی ریاضی زیادی به منظور مکانیابی تسهیلات بر روی شبکه طراحی شده‌اند. عمده مزیت این مدل‌ها، امکان طراحی مدل‌های پیچیده و دارای مقیاس بزرگ است. به‌علاوه برخی مدل‌ها مانند مدل‌های برنامه‌ریزی خطی، دارای مزایای ویژه‌ای مانند کدنویسی ساده توسط کاربر و امکان بدست آوردن جواب‌های دقیق‌تر توسط نرم افزارهای تجاری موجود نیز می‌باشند [۶].

نخستین مدل برنامه‌ریزی ریاضی که به مدل P-median مشهور است، نخستین بار توسط حکیمی در سال ۱۹۶۴ ارائه گردید. صورت کلی مساله، یافتن مکان P تسهیلات جدید بر روی شبکه تقاضا است، به گونه‌ای که میانگین زمان حمل و نقل بین تمامی نقاط تقاضا کمینه گردد [۷].

بر خلاف مدل‌های P-median که بر بهینه‌سازی کارایی سیستم تاکید دارند، مدل‌های P-center سعی بر کمینه‌سازی کارایی نامطلوب و خدمات نابرابر سیستم دارند. هدف مدل‌های P-center کمینه‌سازی بیشترین فواصل بین نقاط تقاضا و نزدیک‌ترین تسهیلات می‌باشد [۸].

یکی از مشهورترین مدل‌ها در میان مدل‌های مکانیابی تسهیلات، مدل مساله پوشش است، که به دلیل قابلیت بکارگیری آن‌ها در دنیای واقعی خصوصاً برای تسهیلات خدماتی و اورژانسی، همواره توجه زیادی از طرف محققان را به خود جلب کرده‌اند. در مسائل پوشش، تقاضای مشتری باید با حداقل یک تسهیلات در یک فاصله‌ی مشخص (نه لزوماً نزدیکترین فاصله) پاسخ گفته شود. سرویس‌گیرنده می‌تواند از هر تسهیلی که فاصله‌ی آن برابر یا کمتر از عدد مشخصی باشد، سرویس دریافت کند. این عدد معین، شعاع پوشش نامیده می‌شود [۹].

مدل‌های پوششی در مکانیابی عموماً به دو مدل مسائل مکانیابی پوشش مجموعه^۱ و مسائل مکانیابی حداکثر پوشش‌دهی^۲ که به ترتیب توسط تورگاس^۳ و چارچ و رول^۴ طراحی شده‌اند، تقسیم می‌شوند. مدل پوشش مجموعه تعداد آمبولانس‌های مورد نیاز جهت پوشش همه نقاط تقاضا را با ملاحظه پوشش زمانی و یا حدنهایت فاصله‌ای، حداقل می‌کند. درحالی‌که مدل حداکثر پوشش‌دهی مشروط به محدود بودن تعداد آمبولانس‌ها و ایستگاه‌ها، پوشش تقاضا را حداکثر می‌کند [۵].

مدل مکانیابی حداکثر پوشش‌دهی نیز تعداد محدودی از تسهیلات را به منظور پوشش‌دهی در نظر گرفته و تعداد نقاط تقاضای پوشش داده شده را بیشینه می‌کند. در مدل پوشش مجموعه همه نقاط تقاضا ملزم هستند که پوشش داده شوند اما در مدل حداکثر پوشش‌دهی هدف بیشینه نمودن تعداد نقاط تقاضای پوشش داده شده است و از این رو ممکن است برخی نقاط تقاضا پوشش داده نشوند [۱۰]. به عبارت دیگر هدف مدل حداکثر پوشش‌دهی بهترین استفاده ممکن از منابع محدود در دسترس است [۱۱].

ایده اصلی هر دو مدل پوشش مجموعه و حداکثر پوشش‌دهی، آمادگی جهت ارائه خدمات بهینه به تمامی تقاضاهای فوری است، اما این آمادگی زمانی که آمبولانس‌ها به سبب اعزام به مأموریت، تعمیرات و نگهداری و غیره از سرویس‌دهی خارج می‌شوند، دچار مشکلات جدی در اجرا می‌گردید. این موانع بسیاری از محققین را بر آن داشت تا به جهت این مشکلات، به توسعه مدل‌های پوششی بپردازند [۱۲].

در سال ۱۹۹۴ مدل حداکثر پوشش مورد انتظار توسط ریپده و برناردو^۵ با لحاظ نمودن تغییرات زمان جابجایی در کل روز، به مدل حداکثر پوشش مورد انتظار وابسته به زمان^۱ مشهور شد [۱۳].

¹ Location Set Covering Problem (LSCP)

² Maximal Covering Location Problem (MCLP)

³ C. Toregas

⁴ R.Church & C.Revelle

⁵ J.F.Repede & J.J.Bernardo

گلدبرگ^۲ و سایرین نیز به همین صورت یک مدل غیر خطی را توسعه دادند که به هر وسیله مستقر شده یک حالت مشغول معین اختصاص دادند که باید با تقسیم مدت زمان تماس درخواست وسیله، بر زمان در دسترس بودن تخمین زده شود. این تخمین به حالت مشغول مخصوص سیستم معروف گردید [۱۴].

در سال ۱۹۸۹ رول و هوگان^۳ مدلی را با عنوان حداکثر دسترس پذیری ارائه کرده‌اند که در آن، هر خدمت دهنده فقط می‌تواند به نواحی محلی مشخصی امداد رسانی کند و بنابراین حجم کاری هر سرویس دهنده با توجه به حجم تقاضای موجود در آن ناحیه تعیین می‌شود و بنابراین تابع هدف مدل ارائه شده، مجموع تقاضای پوشش یافته را بیشینه می‌سازد [۱۵].

در این راستا در سال ۲۰۰۹ راجاگوپالان و سیدام^۴ با الهام از مدل رول و هوگان یک رویکرد جدید را برای مکانیابی آمبولانس‌ها پیشنهاد داده‌اند که با فرض کردن اینکه هر زیر ناحیه یک سیستم چند خدمته (صف) باشد، زمان پاسخگویی مورد انتظار سیستم را حداقل می‌کند [۱۶]. البته ایده چنین مدلی به مقاله‌ی رول و ماریانوف^۵ در سال ۱۹۹۴ و مدل پوشش مجموعه احتمالاتی^۶ بازمی‌گردد [۱۷].

در مدل پوشش مجموعه احتمالاتی جهت مهیا کردن سطح اطمینان مورد نیاز برای هر نقطه تقاضا، یک محدودیت غیرخطی پیشنهاد شده که یک کران بالا را برای احتمال عدم پوشش هر نقطه تقاضا در نظر گرفته که مقدارش کمتر از مقدار معین $1-\alpha$ است [۱۶].

مشکل وجود محدودیت غیر خطی در مدل پوشش مجموعه احتمالاتی توسط بوراس و پاستور^۷ در سال ۲۰۰۲ با پیشنهاد تخمین حالت مشغول و فرض حالت مشغول برابر وسایل نقلیه مستقر در زیرناحیه‌های اطراف نقاط تقاضا، رفع و با یک محدودیت خطی جایگزین گردید [۱۸].

بعدها رول و ماریانوف دومین مساله مکانیابی پوششی خود را ارائه کردند که از نوع باینری (دوجمله‌ای) بود. مدل پیشنهادی با عنوان مدل پوشش مجموعه باینری^۸ تلاش می‌کند تا تعداد آمبولانس مورد نیاز را برای محدودیت پوشش قابل اطمینان را حداقل نماید [۱۷].

نکته قابل توجه این است که رول و ماریانوف با مقایسه‌ی دو مدل مدل پوشش مجموعه احتمالاتی و مدل پوشش مجموعه باینری نشان دادند که مدل مدل پوشش مجموعه باینری در اکثر مواقع با سطح اطمینان بیشتر، نیاز به وسایل نقلیه کمتری نسبت به مدل دیگر دارد [۹].

در سال ۲۰۱۰ سورنسن^۹ و چارچ نیز با تلفیق دو مدل حداکثر پوشش مورد انتظار و پوشش مجموعه احتمالاتی یک مدل حداکثر پوشش مورد انتظار مبتنی بر قابلیت اطمینان محلی ارائه کرده‌اند. این مدل، همانند مدل حداکثر پوشش مورد انتظار، قابلیت اطمینان پوشش مشتریان را حداکثر می‌نماید [۱۹].

۴- مدل برنامه‌ریزی ریاضی پیشنهادی

در این بخش، ساختار مدل پیشنهادی مکان‌یابی بهینه پایگاه‌های امداد اورژانس جاده‌ای ارائه خواهد شد. همچنین الگوریتم حل مدل پیشنهادی بر اساس روش الگوریتم ژنتیک مورد بررسی قرار خواهد گرفت. ساختار کلی مدل پیشنهادی در دو بخش اهداف و محدودیت‌ها بیان می‌گردد.

¹ TIMEXCLP Model

² K. Goldberg

³ K. Hogan

⁴ H.K.Rajagopalan & C.Saydam

⁵ V. Marianov

⁶ Queuing Probabilistic Location Set Covering Problem (QPLSCP)

⁷ F.Borras & F.Pastor

⁸ Binary Location Set Covering Problem (BRLSCP)

⁹ P.Sorensen

۴-۱- اهداف

الف) پوشش بر مبنای زمان سفر

از آنجاییکه زمان سفر و میزان سرعت سفر رابطه‌ای عکس با یکدیگر دارند، لذا عواملی که سبب کاهش سرعت آمبولانس می‌گردند، منجر به افزایش زمان سفر خودروی امدادی خواهند گردید. از جمله این عوامل می‌توان به وضعیت آب و هوایی، احتمال ترافیک و یا حتی انسداد مسیر، بعد از بروز تصادف، طرح هندسی و توپوگرافی مسیر، نوع مسیر و معبر، نسبت حجم به ظرفیت مسیر و غیره اشاره کرد.

ب) بیشینه نمودن پوشش مجروحین بر مبنای توزیع تصادفات بر روی شبکه جاده‌ای

تحلیل موقعیت مکانی پایگاه‌های امدادی بر روی سطح شبکه جاده‌ای، نیازمند اطلاع از وضعیت تقاضای امدادی در شبکه است. در صورتی که تعداد وقوع تصادفات به همراه تعداد مجروحین و کشته شدگان بر روی قطعات مسیر مشخص باشد، آنگاه میزان توزیع تقاضای امدادی در سطح شبکه تعیین می‌گردد.

۴-۲- محدودیت‌ها

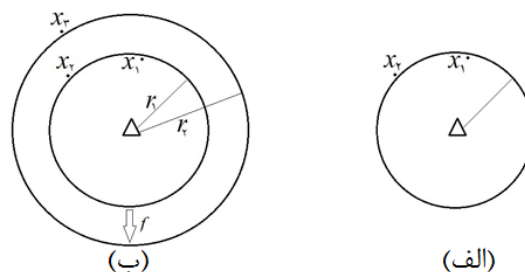
همچنین مدل پیشنهادی دارای محدودیت‌هایی می‌باشد، که از جمله مهمترین آن‌ها می‌توان به محدودیت بودجه و محدودیت مکانی و امکانات اشاره کرد.

۴-۳- فرایند مدل‌سازی

نکته اساسی در امداد رسانی به زمان سفر در سیستم امداد رسان مربوط می‌شود. از آنجاییکه این زمان دارای استاندارد زمانی خاصی می‌باشد و با افزایش زمان، کیفیت سرویس‌دهی دچار مخاطره جدی می‌گردد، لذا مدل‌سازی نیازمند ایجاد شعاع استاندارد و یا شعاع پوششی در اطراف هر پایگاه اورژانس خواهد بود. از این رو مدل‌های پوششی در مقایسه با مدل‌های دیگر مناسب‌ترین گزینه خواهند بود.

به منظور پیاده‌سازی شعاع پوشش یا زمان استاندارد در اطراف پایگاه بایستی زمان استاندارد را به فاصله تبدیل نمود. بدین منظور باید سرعت عملکردی مسیرهای اطراف پایگاه را بدست آورد. با در نظر گرفتن زمان استاندارد و سرعت عملکردی، فاصله یا محدوده پوشش اطراف هر پایگاه قابل محاسبه خواهد بود.

با در نظر گرفتن دو نقطه تقاضای x_1 و x_2 در شکل (۱-الف)، به وضوح هر دو نقطه در مرز فاصله استاندارد قرار گرفته‌اند. نقطه تقاضای x_1 به طور کامل پوشش داده می‌شود، اما نقطه تقاضای x_2 هیچ سهمی از پوشش ندارد، که این مساله همخوانی چندانی با دنیای واقعیت ندارد.

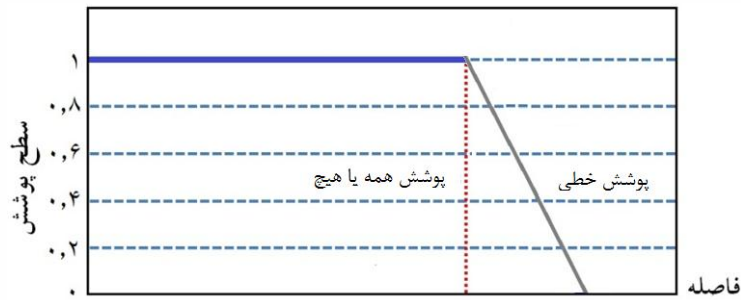


شکل ۱: حالت پایه پوشش و حالت دو شعاع پوشش در مدل‌های پوششی

از این رو در مدل نهایی، با در نظر گرفتن دو شعاع پوششی، همانند شکل (۱-ب) و یک تابع پوششی غیرافزایشی براساس فاصله، تلاش می‌گردد که این نقیصه برطرف گردد.



تابع پوشش به طور معمول یک تابع غیرافزایشی می باشد که با افزایش فاصله نسیت معکوس دارد. نوع تابع پوشش و مقایسه آن با پوشش ساده (همه یا هیچ) در شکل (۲) نشان داده شده است.



شکل ۲: نوع تابع پوششی

تعمیم دیگری که در راستای مدل سازی مکانیابی بهینه پایگاه های امداد جاده ای انجام می گیرد، به مساله ی ظرفیت مربوط می شود. فرض اساسی در تمامی مدل های پوششی، وجود ظرفیت نامحدود برای هر یک از تسهیلات مکانیابی است. اگر چه این فرض در بسیاری از مسائل از جمله مکانیابی پایگاه امداد جاده ای معتبر است، اما مسلماً شرایطی وجود خواهد داشت که موجب محدودیت در کارایی مدل پوششی گردد. از این رو در مدل سازی نهایی فرض ظرفیت تسهیلات مکانیابی شده نیز مورد بررسی قرار خواهد گرفت.

۴-۴- مدل پیشنهادی

مدل پیشنهادی از نوع مدل های حداکثر پوشش بر مبنای پوشش تدریجی و همچنین در نظر گرفتن ظرفیت برای هریک از تسهیلات، به صورت برنامه ریزی عدد صحیح غیرخطی طراحی گردیده است به دلیل ماهیت Np-hard مدل، روش های حل دقیق مسائل بهینه سازی حتی در مقیاس کوچک نیز قادر به حل مدل در زمان معقول نبوده و الگوریتم های فراابتکاری گزینه ای مناسب برای حل مدل به شمار می روند. با در نظر گرفتن پارامترهای

W : مجموعه مکان ها برای احداث تسهیلات،

V : تعداد کل تقاضا،

P : تعداد تسهیلات در دسترس،

d_{ij} : فاصله بین نقطه تقاضای i و تسهیلات مستقر در مکان j ،

k_j : ظرفیت بالقوه تسهیلات مستقر شده در مکان j ،

c_{ij} : تابع پوشش (خطی)،

a_i : میزان تقاضای مکان i ،

W_i : مجموعه مکان های تسهیلاتی که می توانند تقاضای i را به صورت کامل یا جزئی پوشش دهند،

r_1 : شعاع پوشش کوچکتر،

r_2 : شعاع پوشش بزرگتر،

و متغیرهای



x_j : متغیر باینری، برابر ۱ اگر در مکان j تسهیلات مستقر شود و در غیر اینصورت صفر است،
 y_{ij} : متغیر باینری، برابر ۱ اگر تقاضای i توسط تسهیلات j پوشش (کامل یا جزئی) داده شود و در غیر اینصورت صفر است.
 m_{ij} : نسبتی از تقاضای i که به تسهیلات j تخصیص داده شود،

مدل پیشنهادی به شرح روابط (۱-۴) تا (۹-۴) خواهد بود.

$$\text{Miximize } \sum_{i \in V} \sum_{j \in W_i} a_i m_{ij} \quad (1-4)$$

s.t.

$$\sum_{i \in W} x_j \leq P \quad (2-4)$$

$$\sum_{i \in W_i} y_{ij} \leq 1 \quad (i \in V) \quad (3-4)$$

$$y_{ij} \leq x_j \quad (i \in V, j \in W_i) \quad (4-4)$$

$$m_{ij} \leq y_{ij} \quad (i \in V, j \in W_i) \quad (5-4)$$

$$a_i m_{ij} \leq c_{ij} \quad (i \in V, j \in W_i) \quad (6-4)$$

$$\sum_{i \in W_i} a_i m_{ij} \leq k_j x_j \quad (i \in V, j \in W_i) \quad (7-4)$$

$$c_{ij} = \begin{cases} a_i & d_{ij} \leq r_1 \\ a_i (r_2 - d_{ij} / r_2 - r_1) & r_1 < d_{ij} \leq r_2 \\ 0 & d_{ij} > r_2 \end{cases} \quad (8-4)$$

$$x_j, y_{ij}, m_{ij} \in \{0, 1\} \quad (i \in V, j \in W_i) \quad (9-4)$$

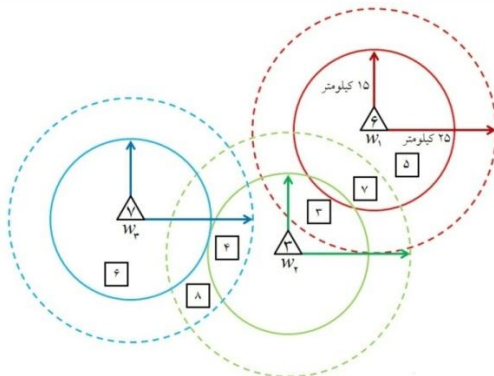
تابع هدف (۱-۴) بیشینه کننده پوشش تقاضا می‌باشد، اما برخلاف مدل‌های پوشش تدریجی، تابع پوشش (c_{ij}) از تابع هدف خارج شده و در محدودیت‌ها قرار گرفته است.

محدودیت (۲-۴) حداکثر تعداد تسهیلات را محدود می‌کند. محدودیت (۳-۴) تضمین می‌کند که هر نقطه تقاضا حداکثر یک بار پوشش داده شود. محدودیت (۴-۴) نیز تضمین می‌کند که اگر در مکان j تسهیلاتی مستقر نگردد، تمامی c_{ij} ‌های متناظر صفر در نظر گرفته می‌شوند. در محدودیت (۵-۴) بیان می‌شود که تنها تقاضاهایی به صورت کامل و یا جزئی پوشش داده می‌شوند که در تابع پوشش مقدار صفر نداشته و یا به عبارت دیگر سهمی از پوشش را به خود اختصاص داده باشند. در محدودیت (۶-۴) تضمین می‌شود که نقاط تقاضا در صورتی که محدودیت ظرفیت برآورده شود، حداکثر به اندازه‌ی مقدار تابع پوشش (c_{ij}) پوشش‌دهی می‌شوند. محدودیت (۷-۴) حداکثر ظرفیت هر یک از تسهیلات را بیان می‌کند.

تابع پوشش خطی به عنوان محدودیت (۸-۴) و با توجه به فاصله نقاط تقاضا از تسهیلات، بیان شده است. نوع متغیرها نیز در محدودیت دامنه‌ای (۹-۴) آورده شده است. باینری بودن متغیر m_{ij} نشان می‌دهد که در صورتی که میزان تقاضا از ظرفیت تسهیلات تخصیص داده شده بیشتر باشد، نسبتی به تقاضا تخصیص داده شود.

۴-۴- مثالی از نوع پوشش در مدل سازی پیشنهادی

با فرض وجود ۳ تسهیلات w_1 ، w_2 و w_3 ، با ظرفیت‌های به ترتیب ۶ و ۴ و ۷، که هر یک دارای دو شعاع پوشش $r_1 = 15$ و $r_2 = 25$ هستند. همچنین ۶ نقطه تقاضا با جمعیت‌های معین در نظر گرفته شده است. تقاضا توسط تسهیلاتی پوشش داده می‌شود که امکان پوشش بیشتری فراهم باشد.



شکل ۳. مثال مدل پوشش تدریجی ظرفیت‌دار

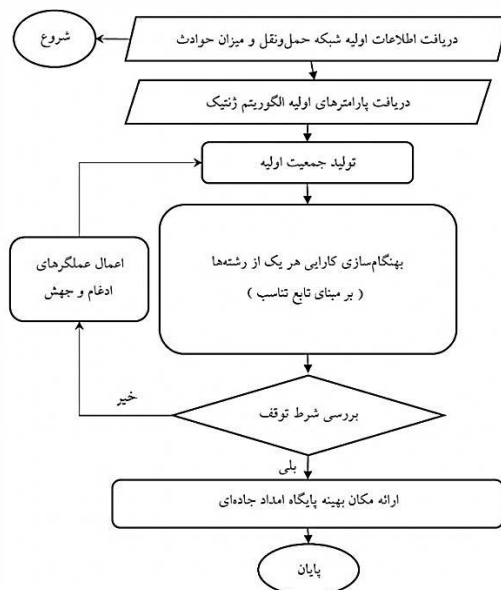
نقطه تقاضای با اندازه ۳ هم در شعاع پوشش کوچکتر w_2 و هم در شعاع پوشش بزرگتر w_1 قرار دارد. بنابراین پوشش کامل توسط w_2 به پوشش جزئی توسط ارجحیت دارد. نقاط تقاضای با اندازه‌ی ۴ و ۷ نیز دارای شرایط مشابهی هستند. اما نقطه تقاضای با اندازه ۸ بین دو شعاع پوششی جزئی قرار داشته و لذا می‌تواند تحت پوشش هر یک دو تسهیلات w_2 و w_3 قرار گیرد. اما بنا به محدودیت (۴-۸) باید توسط w_3 پوشش داده شود و

$$a_i (r_j - d_{ij} / r_j - r_i) = 8(25 - 20 / 25 - 15) = 4$$

که در واقع پوشش نیمی از تقاضا ممکن خواهد بود. بنابراین از آنجاییکه ظرفیت w_2 برابر ۳ است، لذا پوشش توسط w_2 انجام خواهد پذیرفت.

۴-۵- فرایند حل مدل پیشنهادی

فرایند حل مدل پیشنهادی در شکل (۴) نمایش داده شده است.



شکل ۴. فرآیند و الگوریتم حل مدل پیشنهادی.

۵- مطالعه موردی (شبکه جاده‌ای سنندج - بانه)

مسیر جاده‌ای سنندج به بانه به طول ۲۵۴ کیلومتر برای سنجش کارایی مدل پیشنهادی مورد بررسی قرار گرفت. این مسیر که از جمله پر حادثه‌ترین مسیرهای جاده‌ای کشور است، دارای ۱۱۷ کیلومتر مسیر دوبانده و ۱۳۷ کیلومتر مسیر یک بانده است.

در طول این مسیر شهرهای دیواندره و سقز در فواصل ۱۰۰ و ۱۹۲ کیلومتری سنندج واقع‌اند. تعداد ۹ پایگاه نیز در فواصل ۱۵، ۲۰، ۶۵، ۸۰، ۱۲۰، ۱۵۲، ۱۷۹، ۲۰۷ و ۲۴۴ کیلومتری سنندج استقرار یافته‌اند. تعداد تصادفات ثبت شده که در واقع داده‌های آماری موثر در مدلسازی به شمار می‌روند، در بازه زمانی ۲۱ ماه، از آغاز سال ۱۳۹۵ تا آذر ماه ۱۳۹۶، برابر ۱۷۵۱ مورد گزارش شده است. این آمار در جدول (۱) در سه سطح معین گردیده است. سطح ۱ بیانگر حوادث جاده‌ای با شدت حادثه کمتر و سطح ۲ و ۳ بیانگر حوادث دارای شدت بالاتر در نظر گرفته شده است.

جدول ۱. تعداد حوادث رخ داده در مدت ۲۱ ماه در مسیر سنندج - بانه

شدت تصادفات	سطح ۱	سطح ۲	سطح ۳	مجموع
تعداد حوادث	۸۰۴	۵۸۳	۳۶۴	۱۷۵۱

این آمار همچنین به تفکیک موقعیت مکانی وقوع حوادث در بازه‌هایی به طول ۵ کیلومتر در جدول (۲) آورده شده است. شاخص عدالت در امداد رسانی ایجاب می‌کند تا امداد رسانی به حوادث با شدت بالاتر با سرعت بیشتری صورت پذیرد. از این رو وزن‌دهی تابع هدف براساس افزایش شدت حوادث جاده‌ای، صورت می‌پذیرد. در جدول (۲) وزن‌دهی با نسبت‌های ۱ و ۱۰ و ۱۰۰ در نظر گرفته شده است. هر چه این نسبت افزایش یابد، مکان بهینه به مراکز نزدیک خواهد شد که دارای شدت حوادث بیشتری بوده و با کاهش این نسبت، تنها تعداد تقاضاهای دریافتی ملاک ارزیابی خواهد بود. در واقع تفاوت در وزن‌دهی مذکور می‌تواند مکانیابی بهینه را براساس تعداد مجروحین، شدت جراحت مجروحین و یا دیگر شاخص‌ها تغییر دهد.

شعاع پوشش هر پایگاه، بازه‌ای به طول ۱۵ کیلومتر است و پایگاه x_i قادر خواهد بود تا بازه‌های مجاور را نیز تحت پوشش قرار دهد. جمعیت اولیه، رشته‌هایی به فرم $X_n = (x_1, x_2, \dots, x_n)$ ، برای $n = 1, \dots, N$ است، که N بیانگر تعداد جمعیت اولیه است.

جدول ۲. تعداد حوادث رخ داده در مدت ۲۱ ماه در مسیر سنندج - بانه بر حسب موقعیت مکانی

شدت تصادفات	کیلومتر	۰-۵	۵-۱۰	۱۰-۱۵	۱۵-۲۰	۲۰-۲۵	۲۵-۳۰	۳۰-۳۵	۳۵-۴۰	۴۰-۴۵	۴۵-۵۰	۵۰-۵۵	۵۵-۶۰	۶۰-۶۵		
سطح ۱		۴	۶	۶	۲۱	۳۵	۲۱	۱۴	۱۱	۹	۸	۹	۱۴	۱۷		
سطح ۲		۲	۳	۸	۱۹	۲۲	۱۹	۱۰	۶	۵	۷	۵	۵	۱۶		
سطح ۳		۱	۳	۵	۱۴	۱۸	۱۷	۷	۲	۱	۱	۲	۲	۹		
شدت تصادفات	کیلومتر	۶۵-۷۰	۷۰-۷۵	۷۵-۸۰	۸۰-۸۵	۸۵-۹۰	۹۰-۹۵	۹۵-۱۰۰	۱۰۰-۱۰۵	۱۰۵-۱۱۰	۱۱۰-۱۱۵	۱۱۵-۱۲۰	۱۲۰-۱۲۵	۱۲۵-۱۳۰		
سطح ۱		۲۷	۲۹	۲۲	۲۳	۱۵	۹	۶	۶	۱	۱۹	۲۸	۲۴	۲۰		
سطح ۲		۱۸	۱۵	۱۷	۱۵	۷	۹	۱	۵	۲	۱۸	۱۹	۲۲	۱۷		
سطح ۳		۹	۱۱	۱۷	۱۳	۴	۳	۱	۱	۱	۱۱	۱۲	۱۶	۱۸		
شدت تصادفات	کیلومتر	۱۲۰-۱۲۵	۱۲۵-۱۳۰	۱۳۰-۱۳۵	۱۳۵-۱۴۰	۱۴۰-۱۴۵	۱۴۵-۱۵۰	۱۵۰-۱۵۵	۱۵۵-۱۶۰	۱۶۰-۱۶۵	۱۶۵-۱۷۰	۱۷۰-۱۷۵	۱۷۵-۱۸۰	۱۸۰-۱۸۵	۱۸۵-۱۹۰	۱۹۰-۱۹۵
سطح ۱		۲۸	۱۴	۱۳	۱۹	۲۵	۲۳	۱۷	۱۱	۲۷	۲۱	۱۹	۶	۴		
سطح ۲		۲۲	۶	۱۳	۱۸	۱۴	۲۳	۹	۳	۱۴	۱۹	۱۵	۷	۵		
سطح ۳		۱۶	۲	۳	۱۱	۱۲	۱۵	۹	۱	۱۲	۱۱	۷	۱	۱		
شدت تصادفات	کیلومتر	۱۹۵-۲۰۰	۲۰۵-۲۱۰	۲۱۰-۲۱۵	۲۱۵-۲۲۰	۲۲۰-۲۲۵	۲۲۵-۲۳۰	۲۳۰-۲۳۵	۲۳۵-۲۴۰	۲۴۰-۲۴۵	۲۴۵-۲۵۰	۲۵۰-۲۵۴				
سطح ۱		۱	۲۵	۲۴	۱۵	۱۰	۵	۶	۲۲	۱۷	۱۴	۷				
سطح ۲		۳	۱۸	۱۴	۹	۵	۲	۵	۱۳	۱۸	۶	۹				
سطح ۳		۱	۱۰	۱۱	۰	۲	۱	۱	۵	۷	۶	۱۰				

نتایج حاصل از حل مدل حداکثر پوشش‌دهی برای مکانیابی بهینه پایگاه‌های امداد بدون در نظر گرفتن پایگاه‌های موجود و بر مبنای داده‌های آماری شدت حوادث، در جدول (۳) آورده شده است.

جدول ۳. مکانیابی بهینه بدون در نظر گرفتن پایگاه‌های موجود

مکان بهینه	X_5	X_{14}	X_{17}	X_{24}	X_{27}	X_{31}	X_{36}	X_{42}	X_{50}
کیلومتر (از شهر سنندج)	۲۲	۶۷	۸۲	۱۱۷	۱۳۲	۱۵۲	۱۷۷	۲۰۷	۲۴۷
مقدار تابع هدف (بر مبنای وزن‌دهی ۱، ۱۰، ۱۰۰)	۳۵۹۰۱								

نتایج نشان می‌دهد که مکان پایگاه‌های موجود تفاوت چندانی با نتایج حاصل از مدل حداکثر پوشش‌دهی ندارند. تنها تفاوت در راستای بهینه‌سازی میزان پوشش می‌تواند در مکان پایگاه واقع در کیلومتر ۱۵ محور سنندج - بانه رخ دهد. با حل مدل حداکثر پوشش‌دهی به منظور یافتن حداکثر ۶ مکان جدید و با در نظر گرفتن پایگاه‌های موجود، نتایج به شرح جدول (۴) خواهد بود.

جدول ۴. مکانیابی بهینه با در نظر گرفتن پایگاه‌های موجود

مکان بهینه	X_8	X_{11}	X_{22}	X_{28}	X_{33}	X_{50}
کیلومتر (از شهر سنندج)	۳۷	۵۲	۱۰۷	۱۳۷	۱۶۲	۲۴۷
مقدار تابع هدف (بر مبنای وزن‌دهی ۱، ۱۰، ۱۰۰)	۴۲۰۵۶					

نتایج حاصل از مکان‌یابی نشان می‌دهد که تابع هدف دارای مقداری نزدیک به مکانیابی ۱۵ پایگاه، بدون در نظر گرفتن پایگاه‌های موجود است. اما نتایج بدست آمده نشان از وجود کاستی‌هایی در امداد رسانی بهینه دارد. این کاستی‌ها در جدول (۵) خلاصه گردیده است.

جدول ۵. کاستی‌های مکانیابی بهینه با در نظر گرفتن پایگاه‌های موجود

	کیلومتر	
مکان‌های دارای پوشش مضاعف	۱۵۵-۱۶۰	۲۴۰-۲۴۵
مکان‌های فاقد پوشش	۰-۵	۹۰-۱۰۰
	۱۸۵-۲۰۰	۲۱۵-۲۳۵

عدم پوشش با توجه به وجود مراکز بیمارستانی در شهرهای دیواندره و سقز در فواصل به ترتیب ۱۰۰ و ۱۹۲ کیلومتری از شهر سنندج قابل اغماض خواهد بود.

با افزایش شعاع پوشش به ۲۵ کیلومتر، افزودن ۳ پایگاه به ۹ پایگاه موجود (در مکان‌های X_9 ، X_{11} و X_{28})، نتیجه‌ای مشابه با نتایج بدست آمده حاصل خواهد شد، اما این امر موجب کاهش کارایی خواهد شد.

اکنون دو مساله مهم دیگر باقی مانده است: **مساله پوشش تدریجی و ظرفیت پایگاه‌های امداد.** پوشش تدریجی در فواصلی بیش از شعاع پوشش اولیه، می‌تواند نقص در پوشش کامل را مرتفع سازد و ظرفیت پایگاه‌های امداد، تضمین کارایی مدل را به دنبال خواهد داشت. با در نظر گرفتن شعاع پوشش کوچکتر ۱۵ کیلومتر و شعاع پوشش بزرگتر ۲۵ کیلومتر و ظرفیت برابر ۴ در هر یک از پایگاه‌ها و همچنین تابع پوشش غیرافزایشی به صورت خطی، نتایج حاصل از مدل پیشنهادی به شرح جدول (۶) خواهد بود.

جدول ۶. مکانیابی بهینه با در نظر گرفتن پایگاه‌های موجود

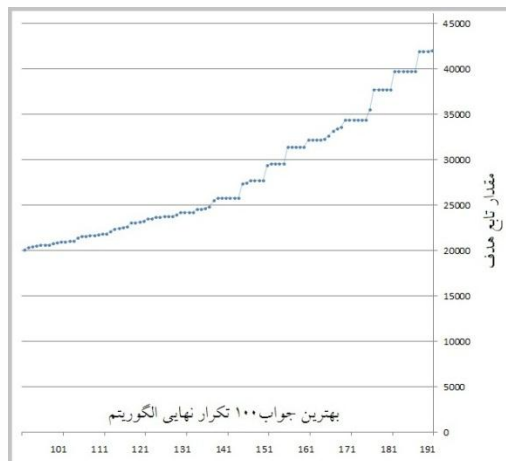
مکان بهینه	X_9	X_{11}	X_{28}	X_{45}
کیلومتر (از شهر سنندج)	۴۵	۱۰۷	۱۹۲	۲۲۲



با استقرار ۴ پایگاه با در نظر گرفتن ۹ پایگاه موجود، تمام مسیر دارای پوشش کامل و یا جزئی خواهد بود. البته باید توجه داشت با توجه به آمارهای موجود، که به طور متوسط در هر روز کمتر از ۳ حادثه در طول مسیر اتفاق می‌افتد، ظرفیت در نظر گرفته شده برای هر یک از پایگاه‌ها، پاسخگوی این میزان از حوادث خواهد بود. اما کارایی مدل پیشنهادی می‌تواند در شبکه‌های شهری، به طور محسوس‌تری نشان داده شود. همچنین می‌توان با کاهش طول هر یک از بازه‌ها (به طور مثال به بازه‌هایی به طول ۱ کیلومتر) دقت مکانیابی را افزایش داد. اما بایستی توجه شود که افزایش طول بازه‌ها منجر به افزایش محاسبات در حل مدل خواهد گردید.

۵-۱- بررسی سرعت الگوریتم

در شکل (۶) روند همگرایی الگوریتم حل مدل در حالتی که تعداد پایگاه‌ها به حداکثر ۶ پایگاه محدود شده است و اندازه جمعیت اولیه برابر ۱۰ است، نشان داده شده است.



شکل ۶. همگرایی در تکرارهای مختلف الگوریتم ژنتیک در حل مدل

۶- نتیجه‌گیری

مکانیابی بهینه پایگاه‌های امداد اورژانس جاده‌ای به دلیل وجود شاخص‌های مختلف، یکی از مسائل مهم به شمار می‌آید. بررسی مطالعات گذشته نشان می‌دهد که بسیاری از مطالعاتی که در راستای جانمایی پایگاه‌های امداد اورژانس جاده‌ای در ایران انجام شده به سایر زمینه‌ها مانند عمرانی و درمانی و جغرافیا و اقلیم‌شناسی پرداخته و کمتر باعث آسیب‌شناسی و کاهش تلفات شده است. لذا هدف اصلی این مقاله، ارائه یک مدل برنامه‌ریزی ریاضی به منظور مکانیابی مراکز اورژانس جاده‌ای بوده است. برای این منظور بر اساس دو شرط اساسی شامل بیشترین پوشش تقاضاهای دریافتی و عدالت اجتماعی به عنوان امداد رسانی با سرعت بیشتر به حوادث دارای شدت بالاتر، با توجه به محدودیت بودجه یک مدل برنامه‌ریزی ریاضی مقید ارائه گردیده است. همچنین تلاش گردید با ارائه نوعی از پوشش، تحت عنوان پوشش تدریجی، مدل برنامه‌ریزی به مسائل واقعی نزدیکتر گردد. از سوی دیگر با در نظر گرفتن ظرفیت هر یک از تسهیلات، تضمین گردید که در صورت جانمایی صحیح تسهیلات، امداد رسانی با کارایی مناسبی صورت پذیرد. با توجه به ماهیت غیرخطی و Np -hard بودن مساله، حل مدل با استفاده از الگوریتم ژنتیک انجام پذیرفت و نتایج و سرعت الگوریتم پیشنهادی مورد تحلیل قرار گرفت.



- 1- Data from "World Health Organization Estimated Deaths 2016"
- 2- OECD/ITF (12 October 2015). "Road Safety Annual Report 2015" (official report). Paris: International Traffic Safety Data and Analysis Group, International Transport Forum (irtad). pp. 47ff. ISBN 9789282107867
- 3- WHO. , "Global Status Report on Road Safety 2013: supporting a decade of action" (official report)", Geneva, Switzerland: World Health Organisation (2013), pp. vii, 1–8, 53ff (countries), 244–251, ISBN 978 92 4 156456 4
- 4- A.M.Caunhye, X.Nie, S.Pokharel, 2012, "Optimization models in emergency logistics: A literature review", Socio-economic planning sciences, 46: pp. 4-13.
- 5- C.Toregas, C.Revelle, 1973, "Binary Logic Solutions to a Class of Location Problems", Geographical Analysis, 5: pp. 145-55.
- 6- M.S.Daskin, E.H.Stern, 1981, "Hierarchical Set Covering Model for Emergency Medical Service Vehicle Deployment", Transportation Science, 15: pp. 137-152.
- 7- S.L.Hakimi, 1964, "Optimal locations of switching centers and absolute centers and medians of a graph", Operations Research, 12: pp.450-459.
- 8- O.Kariv, S.L.Hakimi, 1979, "Algorithmic Approach to Network Location Problems-1: The P-centers." SIAM Journal on Applied Mathematics, 37: pp.513-538.
- 9- R.Z.Farahani, N.Asgari, N.Heidari, M.Hosseiniinia, 2012, "Covering problems in facility location: A review." Computers and Industrial Engineering, 62: pp. 368-407.
- 10- O.Karasakal, E.K.Karasakal, 2004, "A maximal covering location model in the presence of partial coverage", Computers and Operations Research, 31: 1515- 1526.
- 11- O.Berman, Z.Drezner, D.Krass, 2010, "Discrete cooperative covering problems", Journal of Operations Research Society, 62: pp. 2002-2012.
- 12- L.Xueping, Z.Zhaoxia, T.Wyatt, 2011, "Covering models optimization techniques for emergency response facility location and planning: a review", Mathematical methods of operation research, 74(3): pp.281-310.
- 13- J.F.Repede, J.J.Bernardo, 1994, "Developing and validating a decision support system for locating emergency medical vehicles in Louisville", European Journal of Operational Research, 75: pp.567-581.
- 14- J.Goldberg, R.Dietrich, J.Ming Chen, M.G.Mitwasi, 1990, Valenzuela, T., et al., "Validating and applying a model for locating emergency medical vehicles in Tucson", AZ. European Journal of Operational Research, 49: pp. 308-324.
- 15- K.Hogan, C.ReVelle, 1986, "Concepts and applications of backup coverage" Management Science, 32: pp.1434-1444.
- 16- H.K.Rajagopalan, C.Saydam, 2009, "A minimum expected response model: Formulation, heuristic solution, and application", Socio-economic planning sciences, 43: pp. 253-262.
- 17- V.Marianov, C.Revelle, 1994, "The queuing probabilistic location set covering problem and some extensions", Socio-economic planning sciences, 28: pp. 167-178
- 18- F.Borras, , J.T.Pastor, 2002, "The Ex-Post Evaluation of the Minimum Local Reliability Level: An Enhanced Probabilistic Location Set Covering Model", Annals of Operations Research, 111: pp.51-74.
- 19- P.Sorensen, R.Church, 2010, "Integrating expected coverage and local reliability for emergency medical services location problems", Socio-economic planning sciences, 44: pp. 8-18.



Modeling and solving maximal covering location problem in presence of partial coverage and facilities capacity constraints

H. Arefi¹, S.E. Abdolmanafi²

1- MSC, Department of Civil Engineering, Islamic Azad University, North Tehran Branch, Tehran, Iran.

2- PHD in Civil Engineering, Transportation Planning, Tehran, Iran.

Abstract

In this paper, we going to develop maximal covering location problem based on gradual coverage model subjected to facilities capacity constraints. In gradual coverage models, there are more than one coverage radii of any facility that within these radiuses, we have partial coverage based on a non-increasing coverage function. The demands within in the smaller radii is fully covered and out of bigger radii is not any coverage, moreover facilities capacity is infinite too. Because of the complexity of proposed model in this research, we have used meta-heuristic algorithms for our solving procedure. With attention to the literature of solving methods and the structure of these models, we used of genetic algorithm and presented the results and the results show the convergence of two solution methods and the validation of earned solutions.

Keywords: *Locating, Covering models, Emergency medical service, GA algorithm, Capacitated covering models*



¹ Hamedarefi57@yahoo.com

² abdulmanafi@alumni.iust.ac.ir