ارایه‌ی یک مدل دوهدفه در مسائل مکان‌یابی- تخصیص با استفاده از ترکیب رتبه‌بندی کامل بازه‌ای و SCBM

ماجده کردجزی[۱] ، ابوالفضل کاظمی[۲،*]

[۱]کارشناسی ارشد ، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد قزوین، گروه صنایع ، قزوین، ایران

[۲]استادیار، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد قزوین، گروه صنایع ، قزوین، ایران (عهده‌دار مکاتبات)

تاریخ دریافت: مهر ۱۳۹۵، اصلاحیه: دی ۱۳۹۵ ، پذیرش: اسفند ۱۳۹۵

چکیده

مدل‌های پوشش، کاربرد گسترده‌ای در مسائل دنیای واقعی دارند. با این وجود، یک رویکرد کلی، همیشه پاسخگو نیست؛ چرا که برخی از فرضیات مدل‌های پوشش به اندازه‌ی کافی، واقع‌بینانه نیستند. فرضیاتی از قبیل عدم دسترس‌پذیری خدمت‌دهندگان و تعویق خدمت‌رسانی در مواقع اضطراری، عدم قطعیت ناگزیر در مسائل دنیای واقعی و ارزیابی فاکتورهای بیشتر در زمان مشابه، فرضیاتی هستند که مدل‌های پوشش، اغلب با آن‌ها مواجه شده اما پاسخی برای آن‌ها نمی‌یابند. بنابرین چگونگی مواجهه با این فرضیات، همواره به عنوان یک سؤال مطرح بوده است. در این تحقیق، برای مواجهه با عدم دسترس‌پذیری خدمت‌دهندگان، از مدل پوشش پشتیبانی و برای مواجهه با شرایط عدم قطعیت، از مدل رتبه‌بندی کامل بازه‌ای بهره گرفته‌ایم. همچنین تلفیق این دو مدل، ما را قادر می‌سازد تا علاوه بر فاکتور پوشش، فاکتورهای دیگری مانند کارایی و هزینه را در زمان مشابه، ارزیابی کنیم. در انتها، به منظور بررسی و مقایسه نتایج، مدل پیشنهادی به ترتیب در مقیاس کوچک و بزرگ با استفاده از روش‌های دقیق و الگوریتم تکاملی ژنتیک حل شده‌است. نتایج، حاکی از آن است که مدل پیشنهادی علیرغم بررسی همزمان فرضیات اشاره شده، عملکرد مطلوبی داشته و هیچ یک از فرضیات، ناقض یکدیگر نیستند.

کلمات کلیدی: خدمات آمبولانس زمینی و هوایی، تحلیل پوششی داده‌ها، محیط بازه‌ای، بهینه‌سازی چندهدفه.

۱- مقدمه و ادبیات موضوع

برای اولین بار، حکیمی[۱]در سال ۱۹۶۵ مفهوم مدل‌های پوشش را مطرح کرد. او مدل پوشش رأس در یک گراف[۲] را در نظر گرفت و به همه‌ی یال‌های گراف، وزن یکسانی را تخصیص داد. هدف مدل ارایه‌شده توسط او، تعیین تعداد کمینه‌ی پلیس برای پوشش دادن گره‌های واقع‌شده روی شبکه‌ای از بزرگراه‌ها بود [1]. در سال۱۹۷۱، تورگاس[۳] و همکاران، مدل-های پوشش کلی (SCP)[۴] را معرفی کردند. هدف اصلی این مدل‌ها تعیین تعداد کمینه‌ی خدمت‌دهندگان (و مکان آن‌ها) بود به گونه‌ای که بتوان همه‌ی نقاط تقاضا را پوشش داد[2].

در سال۱۹۷۴، چرچ و روله[۵] دریافتند در کاربردهای عملی، ممکن است منابع اختصاص یافته برای پوشش همه‌ی تسهیلات، کافی نباشد یا نتواند سطح مطلوبی از پوشش را فراهم آورد. به همین دلیل آن‌ها مدل مکان-یابی بیشینه‌ی پوشش (MCLP)[۶] را توسعه دادند [3]. در سال ۱۹۸۱ داسکین و استرن[۷] فرضیات مدل‌های SCP را گسترش داده و مفهوم پوشش چندگانه[۸] را مطرح کردند. در مدل ارایه‌شده، پوشش پشتیبانی در نظر گرفته شد اما یکی از مشکلات اساسی این مدل، توزیع نامتوازن خدمت بود [4].

پنج سال بعد، هوگان[۹] و روله پوشش پشتیبانی[۱۰] را به عنوان موردی در نظر گرفتند که در آن، یک تسهیلات اضافی می‌توانست یک گره تقاضا را پوشش دهد. آن‌ها مشکل توزیع نامتوازن در مدل‌های پوشش چندگانه را با بیشینه کردن پوشش پشتیبانی برطرف کردند[5]. در سال ۱۹۸۹، روله و هوگان، پارامترهای قطعی در SCP را با پارامترهای احتمالی، جایگزین کردند و به این ترتیب، مفهوم عدم قطعیت را در مدل خود گنجاندند[6].

در همان سال، پیرکول و اسچیلینگ[۱۱] مدلی ارایه دادند که در آن، تسهیلات جدید دارای ظرفیت محدود بوده و خدمات اولیه و پشتیبانی

*abkaazemi@gmail.com

1- Hakimi
2- Vertex-covering Problem
3- Toregas
4- Set Covering Problem
5- Church and Revelle
6- Maximal Covering Location Problem
7- Daskin and Stern
8- Multiple Coverage
9- Hogan
10- Backup Coverage
11- Pirkul and Schilling

برای هر گره تقاضا فراهم شده بود[7]. یک سال بعد، کولن و تمیر[1]، یک مدل SCP با ظرفیت نامحدود ارایه دادند. اگرچه نادیده گرفتن محدودیت تسهیلات در دنیای واقعی تا حدودی واقع‌بینانه نیست؛ اما این مدل، به دلیل نگاه متفاوتی که به هزینه‌ها دارد، حائز اهمیت است [8].

در سال ۱۹۹۵، داسکین در کتاب خود به بررسی انواع متفاوت مدل‌های SCP پرداخت. همچنین او به توابع هدف دومی که در مکان‌یابی تسهیلات حائز اهمیت هستند، اشاره کرد [9]. در سال۱۹۹۸، آون[2] و داسکین فرض یکسان بودن تمام نقاط تقاضا را نقض کرده و یک مدل SCP با ظرفیت محدود[3] ارایه دادند [10].

در سال ۲۰۰۲، توماس[4] و همکاران مفهوم تحلیل پوشش داده‌ها را وارد مدل‌های مکان‌یابی کردند. آن‌ها یک مدل مکان‌یابی را حل کرده و سپس مکان‌یابی بهینه‌ی تسهیلات را به عنوان ورودی مدل DEA در نظر گرفتند [11]. در سال ۲۰۰۷، لانونی[5] و مورابیتو، مدل ارسال چندگانه[6] را در نظر گرفتند. در این مدل، فرض شد درخواست‌های اضطراری از انواع متفاوتی هستند و خدمت‌دهندگان، قابل تفکیک هستند [12].

دو سال بعد، بارون[7] و همکاران، فرض تقاضای قطعی را نقض کرده و یک مدل SCP با تقاضای تصادفی و تراکم گره‌های تقاضا در نظر گرفتند [13].

در همان سال، برمن[8] و همکاران یک مدل پوشش ارایه دادند که در آن شعاع پوشش، متغیر در نظر گرفته شد. هدف این مدل، علاوه بر تعیین تعداد و مکان‌یابی تسهیلات، یافتن شعاع بهینه‌ی پوشش بود [14]. یک سال بعد، اردمیر[9]و همکاران دو مدل برای استقرار خدمات آمبولانس زمینی و هوایی ارایه دادند که به ترتیب از مفاهیم SCP و MCLP استفاده می‌کردند. آن‌ها پوشش را به عنوان ترکیبی از زمان کل خدمت و زمان پاسخ تعریف کردند و سه نوع متفاوت از آن را در نظر گرفتند [15].

در همان سال، لی و لی[10] یک مدل مکان‌یابی با پوشش سلسله مراتبی ارایه دادند. مدل پیشنهادی از مفهوم پوشش جزئی[11] استفاده می‌کرد. در این مدل، اگر فاصله‌ی تسهیلات تا نقطه‌ی تقاضا، کمتر از یک حد آستانه باشد، گره، کاملاً پوشش داده شده و اگر این فاصله بیشتر باشد، گره به صورت جزئی پوشش داده می‌شود [16].

یک سال بعد، برمن و ونگ[12] یک مدل مکان‌یابی با پوشش تدریجی ارایه دادند که در آن، وزن‌های گره‌های تقاضای روی شبکه، متغیرهای تصادفی بوده و از توزیع نامعلومی تبعیت می‌کردند [17]. در همان سال، ون و کنگ[13] چندین مدل بهینه برای مسأله‌ی مکان‌یابی-تخصیص تسهیلات با تقاضای فازی تصادفی ارایه دادند. سپس آن‌ها برای حل مدل‌های خود، الگوریتم سیمپلکس، شبیه‌سازی‌های فازی تصادفی[14] و الگوریتم ژنتیک (GA) را با هم ادغام کرده و یک الگوریتم هوشمند هیبریدی[15] ارایه دادند[18] .

در همان سال، محب علی زاده[16] و همکاران، مفهوم کارایی تحلیل پوشش داده‌ها را به صورت یک تابع هدف دیگر وارد مدل‌های مکان‌یابی-تخصیص کردند تا عملکرد کارایی تسهیلات در مکان‌های بالقوه را فراهم کنند. آن‌ها یک فرآیند حل بر پایه‌ی برنامه‌ریزی پارامتریک اصلاح شده‌ی فازی[17] و روش انحراف کمینه[18] ارایه دادند[19] .

یک سال بعد، زنجیرانی[19] و همکاران مرور جامعی روی راه‌حل‌ها و کاربردهای مدل‌های مختلف ارایه‌شده در ادبیات پوشش داشتند. همچنین مقاله‌ی آن‌ها سهم بسزایی در زمینه‌ی تحقیقات آینده داشت [20]. در همان سال، نی[20]، دو مدل پوشش رأس و پوشش یال‌های شبکه را در یک محیط تصادفی ارزیابی کرد [21].

یک سال بعد، شیه[21] الگوریتم جدیدی برای حل مدل‌های پوشش متفاوت ارایه داد که قادر بود معادلات فازی را نیز حل کند [22]. در همان سال، زرندی[22] و همکاران، فرض تک دوره‌ای[23] بودن تصمیم در بیشتر مدل‌های مکان‌یابی را نقض کرده و جنبه‌های دینامیکی را وارد مدل خود کردند [23].

یک سال بعد، حسینی نژاد[24]و همکاران مدلی با ظرفیت محدود ارائه دادند که در آن میزان ریسک در شعاع‌های از پیش تعیین شده به نواحی متفاوت اختصاص یافت. علاوه بر این، به دلیل لحاظ کردن عدم قطعیت ناگزیر در محیط، تقاضاها به عنوان اعداد فازی در نظر گرفته شدند[24].

در سال ۲۰۱۵، علیزاده[25] و همکاران مدلی ارائه دادند که در آن تقاضای مشتریان متغیرهای تصادفی گسسته بوده و از یک توزیع برنولی تبعیت می‌کردند. همچنین برای برآورده کردن تقاضا از منابع فرعی استفاده شد [25].

یک سال بعد، پال و مک دونالد[26] برای تعیین مکان و ظرفیت مراکز توزیع آذوقه در هنگام رخداد حوادث طبیعی، منابع چندگانه عدم قطعیت که شامل زمانبندی، شدت و اثر بالقوه حادثه بود را ترکیب کردند[26]. در سال ۲۰۱۷، پال[27] و همکاران از یک محدودیت پوشش شرطی اصلاح شده (CCP)[28] در مدل چندهدفه خود استفاده کردند تا مانع از خدمت رسانی به گره‌هایی شوند که در نزدیکی تسهیلات قرار دارند و بدینوسیله،

1- Kolen and Tamir
2- Owen
3- Capacitated Set Covering Problem
4- Thomas
5- Lannoni
6- Multiple-dispatch
7- Baron
8- Berman
9- Erdemir
10- Lee and Lee
11- Partial Coverage
12- Wang
13- Wen and Kang

14- Random Fuzzy Simulation
15- Hybrid Intelligent Algorithm
16- Moheb-alizade
17- Revised Fuzzy Parametric Programming
18- Minimum Deviation Method
19- Zanjirani
20- Ni
21- Shieh
22- Zarandi
23-- Single Period
24 -Hosseininezhad
25 -Alinezhad
26 -Paul and MacDonald
27 -Paul
28 -Conditional Covering Problem

اثر شعاع پوشش را در بدترین حالت ممکن در نظر گرفتند [27].
با مرور ادبیات، به وضوح می‌توان دریافت که هر یک از مدل‌های پوشش، بسته به هدف مورد نظر فرضیات متفاوتی را در نظر می‌گیرند. ارزیابی فرضیاتی مانند عدم دسترس‌پذیری خدمت‌دهندگان، عدم قطعیت و کارایی واحدها در زمان مشابه، از اهمیت زیادی برخوردار است. بنابرین چگونگی مواجهه با این فرضیات، همواره به عنوان یک سؤال مطرح بوده است. در این مقاله، برای مواجهه با این فرضیات، از مدل ترکیبی SCBM[1] و رتبه‌بندی کامل بازه‌ای بهره گرفته‌ایم.
ساختار مقاله به این صورت است: بخش دوم به معرفی مدل رتبه‌بندی کامل بازه‌ای اختصاص می‌یابد. بخش سوم مدل SCBM را تعریف می‌کند. بخش چهارم به ارایه‌ی مدل ترکیبی SCBM و رتبه‌بندی کامل بازه‌ای می‌پردازد. بخش پنجم و ششم به ترتیب روش‌های حل و تنظیم پارامتر را در بر می‌گیرند. بخش هفتم، نتایج را بررسی کرده و در آخر، بخش هشتم به نتیجه گیری و پیشنهاد جهت تحقیقات آتی می‌پردازد.

۲-معرفی مدل رتبه‌بندی کامل بازه‌ای

تحلیل پوششی داده‌ها (DEA) یک مدل برنامه‌ریزی ریاضی است که به منظور ارزیابی کارایی مقایسه‌ای واحدهای تصمیم‌گیری (DMU)[2] که دارای چند ورودی و خروجی هستند، به کارگرفته می‌شود. مفهوم کارایی که DEA از آن استفاده می‌کند، حاصل تقسیم مجموع وزن‌دار خروجی‌ها به مجموع وزن‌دار ورودی‌هاست. در صورتی‌که هدف، بررسی کارایی n واحد تصمیم‌گیری باشد که هر کدام دارای w ورودی و s خروجی هستند، یک روش برای محاسبه‌ی کارایی واحد تصمیم‌گیری j ام $(j=1,\dots,n)$ می‌تواند به صورت رابطه (۱) باشد:

$$\text{Max } Z_p=\sum_{o=1}^{s} u_o B_{op} \qquad (۱)$$

$$\text{s.t: } \sum_{o=1}^{s} u_o B_{oj} - \sum_{i=1}^{w} v_i D_{ij} \le 0 \qquad j=1,2,\dots,n$$

$$\sum_{i=1}^{w} v_i D_{ip} = 1$$

$$u_o,\ v_i \ge \varepsilon$$

در مدل (۱)، B_{oj} میزان خروجی o ام برای واحد j ام $(o=1,2,\dots,s)$ و D_{ij} میزان ورودی i ام برای واحد j ام $(i=1,2,\dots,w)$ را نشان داده و پارامترهای مدل را تشکیل می‌دهند. همچنین، u_o بیانگر وزن اختصاص یافته به خروجی o ام (قیمت خروجی o ام) و v_i بیانگر وزن اختصاص یافته به ورودی i ام (هزینه‌ی ورودی i ام) هستند که متغیرهای تصمیم مسأله را تشکیل می‌دهند. مقدار تابع هدف (Z_p^*) نیز، معرف کارایی نسبی واحد تحت بررسی p است. اگر $Z_p^*=1$ باشد، کارایی واحد p، برابر با یک بوده و این واحد بر روی مرز کارا قرار می‌گیرد. اما اگر $Z_p^*<1$ باشد، میزان کارایی این واحد کم‌تر از یک بوده و این واحد بر روی مرز کارا قرار نمی‌گیرد. ε یک مقدار بسیار کوچک برابر با ۰/۰۰۰۰۰۰۱ است [24].
اگرچه مدل‌های کلاسیکی مانند مدل (۱) روش‌های مطلوبی برای به دست آوردن کارایی واحدها ارایه می‌دهند؛ اما اغلب قادر به رتبه‌بندی کامل واحدها نیستند. به منظور غلبه بر این ضعف‌ها، از مدل رتبه‌بندی کامل استفاده می‌کنیم. تفاوت این مدل با مدل کلاسیک (۱) در این است که در این مدل، وزنی که برای مقادیر ورودی و خروجی هر واحد تصمیم‌گیری به دست می‌آید؛ علاوه بر این‌که برای محاسبه‌ی کارایی واحد مربوطه به کارگرفته می‌شود، در مقادیر ورودی و خروجی سایر واحدهای تصمیم نیز ضرب‌شده و نسبت وزن‌دار خروجی‌ها به ورودی‌ها شاخصی برای یک رتبه‌بندی کامل فراهم می‌کند.
به این ترتیب همه‌ی این شاخص‌ها در یک جدول بازده-بهره‌وری[3] قرار می‌گیرند که هر سطر آن رتبه‌ی یک واحد تصمیم‌گیری را نشان می‌دهد. عددی که از جمع مقادیر هر سطر به دست می‌آید، نشان‌دهنده‌ی میزان کارایی یک واحد تصمیم‌گیری نیست اما امکان یک رتبه‌بندی کامل را برای ما فراهم می‌کند. تعریف ریاضی این مدل، مانند مدل (۱) است. از حل این مدل، مقادیر u_o^{*p} و v_i^{*p} به عنوان وزن‌های بهینه‌ی ورودی و خروجی واحد p به دست می‌آیند. به این ترتیب، میزان کارایی واقعی واحد p با استفاده از رابطه‌ی (۲) به دست می‌آید:

$$Z_p^* = \frac{\sum_{o=1}^{s} u_o^{*p} B_{op}}{\sum_{i=1}^{w} v_i^{*p} D_{ip}} \qquad (۲)$$

پس از این‌که مدل رتبه‌بندی کامل را برای همه‌ی واحدهای تصمیم‌گیری، حل کردیم، وزن‌های بهینه‌ی هر واحد با توجه به رابطه‌ی (۲) در مقادیر ورودی و خروجی سایر واحدها نیز ضرب شده و شاخص‌هایی را برای رتبه‌بندی فراهم می‌کند. با استفاده از این مفاهیم، جدول pay-off به صورت جدول (۱) خواهد بود.
عناصری که روی قطر اصلی جدول (۱) قرار گرفته‌اند، مقادیر واقعی کارایی واحدهای تصمیم‌گیری را نشان می‌دهند. با توجه به جدول (۱) می‌توان رابطه‌ی کلی شاخص رتبه‌بندی مربوط به واحد تصمیم‌گیری n ام را به صورت رابطه‌ی (۳) استخراج کرد. هرچه مقدار شاخص به دست‌آمده از رابطه‌ی (۳) بیشتر باشد، واحد تصمیم‌گیری مربوطه، دارای اولویت بیشتری است.

$$\theta_n=\frac{\sum_{o=1}^{s} u_o^{*1} B_{op}}{\sum_{i=1}^{w} v_i^{*1} D_{ip}}+\frac{\sum_{o=1}^{s} u_o^{*1} B_{on}}{\sum_{i=1}^{w} v_i^{*1} D_{in}}+\frac{\sum_{o=1}^{s} u_o^{*3} B_{on}}{\sum_{i=1}^{w} v_i^{*3} D_{in}}+$$
$$+\frac{\sum_{o=1}^{s} u_o^{*p} B_{on}}{\sum_{i=1}^{w} v_i^{*p} D_{in}}+\dots+\frac{\sum_{o=1}^{s} u_o^{*n} B_{on}}{\sum_{i=1}^{w} v_i^{*n} D_{in}} \qquad (۳)$$

به خاطر وجود عدم قطعیت، گاهی DEA با داده‌های غیر دقیق مواجه می‌شود. با توجه به ضعف تحقیقات در این زمینه، چگونگی ارزیابی کارایی مجموعه‌ای از واحدهای تصمیم‌گیری در محیط‌های فازی یا بازه‌ای امر مهمی است که نیاز به مطالعه دارد. در همین راستا در این مقاله، فرض

1- Set Covering with Backup Model
2- Decision Making Unit
3- Pay-off

می‌شود سطح در دسترس منابع در هر مکان کاندید برای همه‌ی تسهیلات برابر است در حالیکه میزان منابعی که هر تسهیلات استفاده می‌کند متغیر است. به عبارت دیگر، داده‌های ورودی و خروجی به صورت بازه‌ای مطرح می‌شوند که حد پایین آن، بیانگر بدترین مقدار تخمینی و حد بالای آن، بیانگر بهترین میزان تخمینی است [29].

$$D_{ij}\in[D_{ij}^{l},D_{ij}^{u}] \quad , \quad B_{oj}\in[B_{oj}^{l},B_{oj}^{u}] \qquad (۴)$$

در رابطه‌ی (۴)، B_{oj}^{l} حد پایین خروجی o ام واحد j ام ($o=1,2,.....s$)، B_{oj}^{u} حد بالای خروجی o ام واحد j ام ($o=1,2,.....s$)، D_{ij}^{l} حد پایین ورودی i ام واحد j ام ($i=1,2,.....w$) و D_{ij}^{u} حد بالای ورودی i ام واحد j ام ($i=1,2,.....w$) هستند که پارامترهای مدل را تشکیل می‌دهند. همچنین u_o وزن اختصاص‌یافته به خروجی o ام (قیمت خروجی o ام) و v_i وزن اختصاص‌یافته به ورودی i ام (هزینه‌ی ورودی i ام) متغیرهای تصمیم این مدل هستند. به طور کلی، می‌توان بازه‌های D و B را به صورت رابطه‌ی (۵) نوشت:

$$D_{ij}=D_{ij}^{l}+\lambda_{ij}(D_{ij}^{u}-D_{ij}^{l}) \quad , \quad B_{oj}=B_{oj}^{l}+\lambda'_{oj}(B_{oj}^{u}-B_{oj}^{l})$$
$$0\le\lambda_{ij},\lambda'_{oj}\le 1 \qquad (۵)$$

با قرار دادن رابطه‌ی (۵) به جای D_{ij} و B_{oj} در مدل (۱) خواهیم داشت:

$$\text{Max}\sum_{o=1}^{s}u_o B_{op}^{l}+\sum_{o=1}^{s}u_o\lambda'_{op}(B_{op}^{u}-B_{op}^{l}) \qquad (۶)$$

$$\text{s.t:}\sum_{i=1}^{w}v_i D_{ip}^{l}+\sum_{i=1}^{w}p_{ip}(D_{ip}^{u}-D_{ip}^{l})=1 \qquad (۷)$$

$$\sum_{o=1}^{s}u_o B_{oj}^{l}+\sum_{o=1}^{s}u_o\lambda'_{oj}(B_{oj}^{u}-B_{oj}^{l})-\sum_{i=1}^{w}v_i D_{ij}^{l}-$$
$$\sum_{i=1}^{w}v_i\lambda_{ij}(D_{ij}^{u}-D_{ij}^{l})\le 0 \qquad j=1,2,\ldots\ldots,n$$
$$u_o,\ v_i\ge\varepsilon\ ,\quad 0\le\lambda_{ij},\lambda'_{oj}\le 1 \qquad (۹)$$

برای خطی شدن مدل (۶) تغییر متغیرهای زیر را انجام می‌دهیم:

$$u_o\lambda'_{op}=p'_{op}\ ,\qquad v_i\lambda_{ip}=p_{ip}\ ,$$
$$u_o\lambda'_{oj}=p'_{oj}\ ,\qquad v_i\lambda_{ij}=p_{ij} \qquad (۱۰)$$

پس از اعمال تغییر متغیر (۱۰) می‌توان مدل (۶) را به صورت مدل (۱۱) نوشت:

$$\text{Max}\sum_{o=1}^{s}u_o B_{op}^{l}+\sum_{o=1}^{s}p'_{op}(B_{op}^{u}-B_{op}^{l}) \qquad (۱۱)$$

$$\text{s.t:}\sum_{i=1}^{w}v_i D_{ip}^{l}+\sum_{i=1}^{w}p_{ip}(D_{ip}^{u}-D_{ip}^{l})=1 \qquad (۱۲)$$

$$\sum_{o=1}^{s}u_o B_{oj}^{l}+\sum_{o=1}^{s}p'_{oj}(B_{oj}^{u}-B_{oj}^{l})-\sum_{i=1}^{w}v_i D_{ij}^{l}-$$
$$\sum_{i=1}^{w}p_{ij}(D_{ij}^{u}-D_{ij}^{l})\le 0 \qquad j=1,2,\ldots\ldots,n \qquad (۱۳)$$

همچنین با استفاده از محدودیت (۹) و تغییر متغیر (۱۰) خواهیم داشت:

$$0\le\square\square_{oj}\le 1\ ,\ u_o\ge\varepsilon\rightarrow 0\le u_o\ \square\square_{oj}=p'_{oj}\le u_o$$
$$0\le\square_{ij}\le 1\ ,\ v_i\ge\varepsilon\rightarrow 0\le v_i\ \square_{ij}=p_{ij}\le v_i \qquad (۱۴)$$

پس از اعمال تغییر متغیر (۱۴) محدودیت (۹) از مدل (۶) حذف شده و مجموعه محدودیت‌های (۱۵) به مدل اضافه می‌شوند:

$$p'_{oj}\le u_o \qquad p_{ij}\le v_i \qquad p'_{oj},\ p_{ij}\ge 0 \qquad (۱۵)$$

از حل مدل، مقادیر p_{ip}^{*} ، u_o^{*} ، v_i^{*} ، p'^{*}_{op} به دست می‌آید. با قرار دادن p'^{*}_{op} و u_o^{*} در تابع هدف (۱۱)، رابطه‌ی (۱۶) به دست می‌آید که مقدار کارایی بهینه را برای واحد تحت بررسی p محاسبه می‌کند:

$$Z_p^{*}=\sum_{o=1}^{s}u_o^{*}B_{op}^{l}+\sum_{o=1}^{s}p'^{*}_{op}(B_{op}^{u}-B_{op}^{l}) \qquad (۱۶)$$

بنابرین مرحله‌ی اول در مدل رتبه‌بندی کامل بازه‌ای با حل مدل (۱۱) اجرا می‌شود. همچنین از تلفیق روابط (۲) و (۱۶)، رابطه‌ی (۱۷) برای محاسبه‌ی میزان بهینه‌ی کارایی، به دست می‌آید:

$$Z_p^{*}=\frac{\sum_{o=1}^{s}u_o^{*p}B_{op}^{l}+\sum_{o=1}^{s}p'^{*}_{op}(B_{op}^{u}-B_{op}^{l})}{\sum_{i=1}^{w}v_i^{*p}D_{ip}^{l}+\sum_{i=1}^{w}p_{ip}^{*}(D_{ip}^{u}-D_{ip}^{l})} \qquad (۱۷)$$

پس از حل مدل (۱۱) برای همه‌ی واحدهای تصمیم‌گیری، می‌توان با توجه به روابط (۳) و (۱۷) رابطه‌ی کلی شاخص رتبه‌بندی مربوط به واحد تصمیم‌گیری n ام را به صورت رابطه (۱۸) استخراج کرد:

$$\theta_{DMU_n}=\frac{\sum_{o=1}^{s}u_o^{*1}B_{on}^{l}+\sum_{o=1}^{s}p'^{*}_{o1}(B_{on}^{u}-B_{on}^{l})}{\sum_{i=1}^{w}v_i^{*1}D_{in}^{l}+\sum_{i=1}^{w}p_{i1}^{*}(D_{in}^{u}-D_{in}^{l})}+$$
$$\frac{\sum_{o=1}^{s}u_o^{*n}B_{on}^{l}+\sum_{o=1}^{s}p'^{*}_{on}(B_{on}^{u}-B_{on}^{l})}{\sum_{i=1}^{w}v_i^{*n}D_{in}^{l}+\sum_{i=1}^{w}p_{in}^{*}(D_{in}^{u}-D_{in}^{l})} \qquad (۱۸)$$

مانند مدل رتبه‌بندی کامل در حالت قطعی، هر واحدی که θ بیشتری را به خود اختصاص دهد در رتبه‌ی اول قرار می‌گیرد.

۳- معرفی مدل پوشش کلی با مدل پشتیبانی (SCBM)

یکی از انواع مهم مدل‌های مکان‌یابی تسهیلات، مدل‌های پوشش هستند. اگرچه مدل‌های پوشش، جدید نیستند اما به خاطر کاربرد گسترده‌ای که

در مسائل دنیای واقعی دارند، توجه زیادی را به خود جلب کرده‌اند. گاهی مدل‌های پوشش، وارد حیطه‌ی خدمات اضطراری می‌شوند مانند خدمت-رسانی به بیماران تصادفی بدحال. در این حالت، پاسخگویی و پوشش تقاضاها در اسرع وقت از اهمیت زیادی برخوردار است.

در همین راستا اردمیر و همکاران مدلی برای استقرار هم‌زمان آمبولانس-های زمینی و هوایی و نواحی فرود (نقاط انتقال) به منظور خدمت‌رسانی به بیماران تصادفی ارایه دادند. در این مدل، پوشش به عنوان ترکیبی از زمان کل خدمت و زمان کل پاسخ‌دهی تعریف می‌شود-تا بیمار به نزدیک‌ترین مرکز درمانی منتقل شود- و سه نوع متفاوت از آن ارایه می-شود: فقط پوشش (خدمات) هوایی، فقط پوشش (خدمات) زمینی و ترکیبی از این دو (پوشش اشتراکی[1] زمینی و هوایی) که در ناحیه‌ی فرود هواپیما صورت می‌پذیرد و مفهوم جدیدی در مدل‌های پوشش است. به این ترتیب، با شرایط زیر محل حادثه پوشش داده می‌شود:

اگر حداقل یک آمبولانس زمینی در فاصله‌ی تعیین‌شده با محل حادثه استقرار یابد و همچنین بتواند بیمار را در زمان مشخص t به نزدیک‌ترین مرکز درمانی منتقل کند، فقط پوشش زمینی خواهیم داشت. اگر حداقل یک آمبولانس هوایی در فاصله‌ی تعیین‌شده با محل حادثه استقرار یابد و همچنین بتواند بیمار را در زمان مشخص t به نزدیک‌ترین مرکز درمانی منتقل کند-به شرطی که بتواند در محل حادثه فرود آید، فقط پوشش هوایی خواهیم داشت.

اگر حداقل یک ترکیب از آمبولانس زمینی، هوایی و ناحیه‌ی فرود در فاصله‌ی تعیین‌شده با محل حادثه استقرار یابد و همچنین این آمبولانس‌ها بتوانند بیمار را در زمان مشخص t به نزدیک‌ترین مرکز درمانی منتقل کنند پوشش اشتراکی هوایی و زمینی خواهیم داشت. این موارد، زمانی به کارگرفته می‌شوند که آمبولانس هوایی قادر به فرود آمدن در ناحیه‌ی تصادف نیست. در این موارد، آمبولانس زمینی پاسخ اولیه را در مکان تصادف، فراهم کرده و بیمار را به نقطه‌ی فرود می‌رساند. بیمار در آن‌جا به یک آمبولانس هوایی منتقل می‌شود و آمبولانس هوایی بیمار را به مرکز درمانی می‌رساند [15].

فاکتورهای زیادی وجود دارد که مشخص می‌کند کدام نوع از خدمت-دهندگان، برای پاسخگویی به بیمار مناسب‌تر هستند. یکی از این فاکتورها زمان کمینه‌ی خارج از بیمارستان یعنی زمان وقوع تصادف تا رساندن بیمار به بیمارستان است. به عنوان مثال، اگر محل تصادف، نزدیک مرکز درمانی باشد، آمبولانس‌های زمینی ترجیح داده می‌شوند. اما اگر حادثه در یک ناحیه‌ی روستایی به وقوع بپیوندد که از مرکز درمانی دور است، آمبولانس‌های هوایی برای حمل بیمار، ترجیح داده می‌شوند.

آمبولانس‌های زمینی به درصد گسترده‌ای از حوادث که جدیت کم‌تری دارند، پاسخ می‌دهند. اما اگر فقط یک آمبولانس زمینی در یک ناحیه باشد، اغلب برای ارسال این وسیله به یک مسافت طولانی خارج از ناحیه‌ی خدمت خود، نارضایتی وجود دارد. بنابرین در نواحی با تعداد تصادف زیاد، پوشش پشتیبانی مورد نیاز است که این پوشش توسط یک آمبولانس زمینی یا یک ترکیب از آمبولانس‌های زمینی و هوایی فراهم می‌شود. همچنین در عمل، ممکن است زمانی‌که از بهترین (نزدیک‌ترین) آمبولانس زمینی درخواست خدمت‌رسانی می‌شود، این آمبولانس در حال پاسخگویی به یک بیمار دیگر باشد. در این موارد نیز پوشش پشتیبانی خواهیم داشت [15].

مدل پیشنهادی هم گره‌ها و هم مسیرها (اتصالات شبکه) را پوشش می-دهد و به این ترتیب، عدم قطعیت در توزیع فضایی مکان‌های تصادف را در نظر می‌گیرد. مسیرها جاده‌هایی هستند که در آن‌ها تصادفات اتفاق می‌افتد و نقاط تصادف می‌توانند به عنوان نقاطی روی مسیرها تعریف شوند که در آن‌ها مکرراً تصادف رخ می‌دهد. ممکن است مسیرهای تصادف دارای بخش‌هایی باشند که توسط خدمت‌دهندگان متفاوت، خدمت دریافت می‌کنند. با این وجود، در مسیرهای تصادف با طول کم، این احتمال وجود دارد که یک خدمت‌دهنده، کل مسیر را پوشش دهد. بنابرین با تقسیم هر مسیر تصادف به بخش‌های خطی کوچک‌تر، قادر هستیم با رویکرد مشابهی نقاط و مسیرها را ارزیابی کنیم. طبق این تعاریف، نواحی تصادف به دو دسته تقسیم می‌شوند: نواحی که آمبولانس-های هوایی می‌توانند در آن‌ها فرود آیند و نواحی که آمبولانس‌های هوایی نمی‌توانند در آن‌ها فرود آیند. برای دسته‌ی اول، فقط پوشش زمینی یا فقط پوشش هوایی را در نظر می‌گیریم و برای دسته‌ی دوم فقط پوشش زمینی یا پوشش اشتراکی را مد نظر قرار می‌دهیم[15].

در مدل SCBM مکان‌های آمبولانس زمینی، هوایی و ناحیه‌ی فرود، متغیرهای تصمیم را تشکیل می‌دهند. تابع هدف، کمینه کردن هزینه‌ی کلی استقرار آمبولانس زمینی، هوایی و ناحیه‌ی فرود است. ایده‌ی اصلی در این مدل تعیین هزینه‌ی مربوط به پوشش همه‌ی مکان‌های تصادف با استفاده از ترکیبی از آمبولانس‌های زمینی و هوایی است. بنابرین این مدل، یک حد بالا برای بودجه‌ی مورد نیاز به منظور ایجاد یک سیستم اضطراری بهینه فراهم می‌کند.

محدودیت‌های مدل، الزام می‌کنند که همه‌ی نقاط و مسیرهای تصادف، حداقل یک بار پوشش داده شوند و پوشش پشتیبانی مختص مسیرها و گره‌های تصادفی است که دقیقاً توسط یک آمبولانس زمینی یا یک ترکیب از آمبولانس زمینی و هوایی پوشش داده شده‌اند. جدول (۲): تعریف نمادهای مدل ترکیبی پیشنهادی‌به تعریف نمادهای مدل SCBM می‌پردازد.

با توجه به جدول (۲) مدل ریاضی SCBM به صورت رابطه‌ی (۱۹) تعریف می‌شود:

$$\text{Min}\left(\sum_{a\in M_A} c_A x_a + \sum_{h\in M_H} c_H y_h + \sum_{r\in M_R} c_R z_r\right) - \sum_{j\in N\cup P} uc_j \varepsilon \qquad (۱۹)$$

$$\text{s.t:} \quad \sum_{h\in M_H} A_{hj} y_h \geq uc_j \qquad \forall j \in N \cup P \qquad (۲۰)$$

$$A_{aj} x_a + \sum_{h\in M_H}\sum_{r\in M_R} A_{ahrj} l_{ahr} \geq va_{ja}$$

1- Joint Coverage

$$\forall j \epsilon N \cup P \ , \ \forall a \epsilon M_A \qquad (۲۱)$$

$$\sum_{a \in M_A} va_{ja} = 2(1-uc_j) \qquad \forall j \epsilon N \cup P \qquad (۲۲)$$

$$x_a \geq l_{ahr} \quad \forall a \epsilon M_A \ , \ \forall h \epsilon M_H \ , \ \forall r \epsilon M_R \qquad (۲۳)$$

$$y_h \geq l_{ahr} \quad \forall a \epsilon M_A \ , \ \forall h \epsilon M_H \ , \ \forall r \epsilon M_R \qquad (۲۴)$$

$$z_r \geq l_{ahr} \quad \forall a \epsilon M_A \ , \ \forall h \epsilon M_H \ , \ \forall r \epsilon M_R \qquad (۲۵)$$

$$x_a + y_h + z_r - l_{ahr} \leq 2 \quad \forall a \epsilon M_A \ , \ \forall h \epsilon M_H \ , \ \forall r \epsilon M_R \qquad (۲۶)$$

$$x_a \epsilon \{0,1\} \quad \forall a \epsilon M_A$$
$$y_h \epsilon \{0,1\} \quad \forall h \epsilon M_H$$
$$z_r \epsilon \{0,1\} \quad \forall r \epsilon M_R$$
$$l_{ahr} \epsilon \{0,1\} \quad \forall a \epsilon M_A \ , \ \forall h \epsilon M_H \ , \ \forall r \epsilon M_R$$
$$uc_j \epsilon \{0,1\} \quad \forall j \epsilon N \cup P$$
$$va_{ja} \epsilon \{0,1\} \quad \forall j \epsilon N \cup P \ , \ \forall a \epsilon M_A$$

تابع هدف (۱۹) سعی در کمینه کردن هزینه‌ی کل استقرار آمبولانس‌های زمینی، هوایی و نقاط فرود دارد. در این تابع، مجموع متغیرهای uc_j (ضرب در یک عدد بسیار کوچک ε) را از هزینه‌ی کل کم می‌کنیم. با این کار، اگر حداقل یک آمبولانس هوایی برای پوشش j موجود باشد، تخصیص دو آمبولانس زمینی متفاوت برای پوشش گره/مسیر j لزومی ندارد.

مجموعه محدودیت‌های(۲۰)-(۲۲) محدودیت‌های پوشش پشتیبانی هستند. این محدودیت‌ها تضمین می‌کنند که همه‌ی گره‌ها و مسیرهای تقاضا حداقل یک بار توسط یک آمبولانس هوایی، یا دو بار توسط یک آمبولانس زمینی و یا ترکیبی از آمبولانس‌های زمینی و هوایی پوشش می‌یابند.

مجموعه محدودیت‌های (۲۳)-(۲۶) محدودیت‌های خطی‌سازی هستند. این محدودیت‌ها تضمین می‌کنند زمانی‌که حداقل یکی از سه متغیر x_a، y_h یا z_r صفر باشد، l_{ahr} نمی‌تواند برابر با یک باشد؛ به این معنی که حداقل یکی از خدمت‌دهندگان که باید در ترکیب باشد، مستقر نشده است و بنابرین چنین ترکیبی از آمبولانس‌های زمینی برای خدمت‌رسانی وجود ندارد.

محدودیت (۲۶) تضمین می‌کند که اگر هر سه متغیر x_a، y_h یا z_r برابر با یک باشند، l_{ahr} نمی‌تواند صفر باشد؛ به این معنی که اگر همه‌ی خدمت دهندگان که این ترکیب را شکل می‌دهند، مستقر شده باشند، این ترکیب باید برای پوشش نقاط و مسیرهای تصادف در ناحیه‌ی پوشش خود در دسترس باشد. سایر محدودیت‌ها، محدودیت‌های خطی سازی و تعریف متغیر باینری هستند.

٤-ارایه‌ی مدل ترکیبی SCBM و رتبه‌بندی کامل بازه‌ای

همانگونه که پیش‌تر اشاره شد علاوه بر تغییراتی که در فرضیات قابل اعمال است، می‌توان مدل‌های پوشش چندهدفه را به منظور ارزیابی فاکتورهای بیشتری در زمان مشابه و بسته به هدف مورد نظر به کار گرفت. یکی از این اهداف می‌تواند ارزیابی کارایی تسهیلات باشد. در یک مدل پوشش به طور کلی هدف، کمینه کردن هزینه‌ی مکان‌یابی تسهیلات یا بیشینه کردن میزان پوشش است.

در این مدل، بیشینه کردن کارایی نیز مد نظر قرار می‌گیرد و مفهوم کارایی در یک محیط بازه‌ای به صورت یک تابع هدف دیگر وارد مدل‌های پوشش می‌شود تا بینشی را در مورد تسهیلات در مکان‌های بالقوه‌ی متفاوت فراهم کند. به این منظور، مکان‌یابی تسهیلات در مکان کاندید به عنوان یک واحد تصمیم‌گیری در نظر گرفته می‌شود. بر همین اساس، یک مدل ترکیبی ارایه می‌شود که از مفاهیم مدل رتبه‌بندی کامل بازه‌ای و مدل SCBM استفاده می‌کند. قبل از تعریف ریاضی مدل، نمادهای مربوط به رتبه‌بندی کامل بازه‌ای که باید با مدل ترکیبی با نمادهای جدول (۲) تلفیق شوند در جدول (۳) ارایه می‌شوند.

با تلفیق نمادهای ارایه‌شده در جدول (۲) و جدول (۳) تعریف ریاضی مدل ترکیبی پیشنهادی، به صورت رابطه‌ی (۲۷) خواهد بود:

$$Z_1 = \text{Max} \sum_{a \in M_A} \sum_{o=1}^{s} u_{oa} B^l_{oa} + \sum_{a \in M_A} \sum_{o=1}^{s} k_{oa} (B^u_{oa} - B^l_{oa}) + \sum_{h \in M_H} \sum_{o=1}^{s} \mu_{oh} \beta^l_{oh} + \sum_{h \in M_H} \sum_{o=1}^{s} \omega_{oh} (\beta^u_{oh} - \beta^l_{oh})$$

$$Z_2 = \text{Min} \left(\sum_{a \in M_A} c_A x_a + \sum_{h \in M_H} c_H y_h + \sum_{r \in M_R} c_R z_r \right) - \sum_{j \in N \cup P} uc_j \varepsilon$$

$$\text{s.t:} \quad \sum_{i=1}^{w} v_{ia} D^l_{ia} + \sum_{i=1}^{w} q_{ia} (D^u_{ia} - D^l_{ia}) = x_a \qquad \forall a \epsilon M_A \qquad (۲۷)$$

$$\sum_{i=1}^{w} \gamma_{ih} \alpha^l_{ih} + \sum_{i=1}^{w} \varphi_{ih} (\alpha^u_{ih} - \alpha^l_{ih}) = y_h \qquad \forall h \epsilon M_H \qquad (۲۸)$$

$$\sum_{o=1}^{s} u_{oa} B^l_{oa} + \sum_{o=1}^{s} k_{oa} (B^u_{oa} - B^l_{oa}) - \qquad (۲۹)$$

$$\sum_{i=1}^{w} v_{ia} D^l_{ia} - \sum_{i=1}^{w} q_{ia} (D^u_{ia} - D^l_{ia}) \leq 0 \qquad \forall a \epsilon M_A$$

$$\sum_{o=1}^{s} \mu_{oh} \beta^l_{oh} + \sum_{o=1}^{s} \omega_{oh} (\beta^u_{oh} - \beta^l_{oh}) -$$

$$\sum_{i=1}^{w} \gamma_{ih} \alpha^l_{ih} - \sum_{i=1}^{w} \varphi_{ih} (\alpha^u_{ih} - \alpha^l_{ih}) \leq 0 \qquad \forall h \epsilon M_H \qquad (۳۰)$$

$$\sum_{h \in M_H} A_{hj} y_h \geq uc_j \qquad \forall j \epsilon N \cup P \qquad (۳۱)$$

$$A_{aj} x_a + \sum_{h \in M_H} \sum_{r \in M_R} A_{ahrj} l_{ahr} \geq va_{ja} \quad \forall j \epsilon N \cup P \ , \forall a \epsilon M_A \qquad (۳۲)$$

$$\sum_{a\in M_A} va_{ja}=2(1-uc_j) \qquad \forall j\epsilon\, NUP \qquad (۳۳)$$

$$x_a \geq l_{ahr} \qquad \forall a\epsilon M_A \quad , \quad \forall h\epsilon M_H \quad , \quad \forall r\epsilon M_R \qquad (۳۴)$$

$$y_h \geq l_{ahr} \qquad \forall a\epsilon M_A \quad , \quad \forall h\epsilon M_H \quad , \quad \forall r\epsilon M_R \qquad (۳۵)$$

$$z_r \geq l_{ahr} \qquad \forall a\epsilon M_A \quad , \quad \forall h\epsilon M_H \quad , \quad \forall r\epsilon M_R \qquad (۳۶)$$

$$x_a+y_h+z_r-l_{ahr} \leq 2 \qquad \forall a\epsilon M_A \ , \ \forall h\epsilon M_H \ , \ \forall r\epsilon M_R \qquad (۳۷)$$

$$u_{oa}, v_{ia} \geq \varepsilon x_a \qquad (۳۸)$$

$$\mu_{oh}, \gamma_{ih} \geq \varepsilon y_h \qquad (۳۹)$$

$$0 \leq k_{oa} \leq u_{oa} \quad , \quad 0 \leq q_{ia} \leq v_{ia}$$
$$0 \leq \omega_{oh} \leq \mu_{oh} \quad , \quad 0 \leq \varphi_{ih} \leq \gamma_{ih}$$
$$x_a \epsilon \{0,1\} \qquad \forall a\epsilon M_A$$
$$y_h \epsilon \{0,1\} \qquad \forall h\epsilon M_H$$
$$z_r \epsilon \{0,1\} \qquad \forall r\epsilon M_R$$
$$l_{ahr} \epsilon \{0,1\} \qquad \forall a\epsilon M_A \quad , \quad \forall h\epsilon M_H \quad , \quad \forall r\epsilon M_R$$
$$uc_j \epsilon \{0,1\} \qquad \forall j\epsilon\, NUP$$
$$va_{ja} \epsilon \{0,1\} \qquad \forall j\epsilon\, NUP \quad , \quad \forall a\epsilon M_A$$

محدودیت (۲۷) یعنی اگر یک آمبولانس زمینی در مکان کاندید a مستقر شود، مجموع وزن‌دار ورودی‌ها در آن مکان، باید برابر با یک باشد. محدودیت (۲۸) بیان می‌کند که اگر یک آمبولانس هوایی در مکان کاندید h مستقر شود، مجموع وزن‌دار ورودی‌ها در آن مکان باید برابر با یک باشد. محدودیت (۲۹) به این معنی است که نسبت وزن‌دار خروجی‌ها به ورودی‌ها برای هر مکان کاندید استقرار آمبولانس زمینی، حداکثر می‌تواند برابر با یک باشد. محدودیت (۳۰) الزام می‌کند که نسبت وزن‌دار خروجی‌ها به ورودی‌ها برای هر مکان کاندید استقرار آمبولانس هوایی، حداکثر برابر با یک باشد.

مجموعه محدودیت‌های (۳۱)-(۳۲) مشابه با محدودیت‌های (۲۰)-(۲۲) در مدل SCBM هستند. مجموعه محدودیت‌های (۳۴)-(۳۷) مشابه با محدودیت‌های (۲۳)-(۲۶) در مدل SCBM هستند. مجموعه محدودیت‌های (۳۸) و (۳۹) الزام می‌کنند که وزن‌های ورودی و خروجی برای آمبولانس‌های زمینی و هوایی که استقرار یافته‌اند (یا در واقع $x_a=1$, $y_h=1$) باید بزرگ‌تر یا مساوی با ε باشد. اگر آمبولانسی در یکی از مکان‌های بالقوه برای مکان‌یابی، مستقر نشده‌باشد نیازی نیست که وزن‌های ورودی و خروجی این آمبولانس بزرگ‌تر یا مساوی با ε باشد.

پس از حل مدل ترکیبی پیشنهادی، علاوه بر دستیابی به نیازمندی‌های پوشش، وزن‌های مشترک مربوط به فاکتورهای ورودی و خروجی واحدهای تصمیم‌گیری (مکان‌های استقرار آمبولانس‌های زمینی و هوایی) نیز حاصل می‌شود که با قرار دادن این مقادیر در رابطه‌ی (۳) می‌توان به رتبه‌بندی کامل این مکان‌ها دست یافت.

۵- روش‌های حل پیشنهادی

با توجه به این‌که مدل ترکیبی پیشنهادی در این تحقیق، مدلی دوهدفه است، حل آن تکنیک‌های بهینه‌سازی چندهدفه را طلب می‌کند. بهینه-سازی چندهدفه را می‌توان با استفاده از روش‌های کلاسیک و الگوریتم-های تکاملی اجرا کرد. روش‌های کلاسیک، اغلب از طریق رتبه‌بندی اهداف یا بهینه‌یابی یک هدف و در نظرگرفتن سایر اهداف به عنوان محدودیت، عمل بهینه سازی را انجام می‌دهند [30].

در این مقاله، از روش LP متریک[1] یا معیار جامع به عنوان روشی کلاسیک برای بهینه سازی چندهدفه بهره می‌گیریم. در این روش، انحرافات توابع هدف یک مدل چندهدفه را از مقدار بهینه‌ی این اهداف، حداقل می‌نماییم. بدین صورت که برای یک مدل با n تابع هدف، باید مقدار بهینه‌ی هر تابع هدف را مستقل از n-1 تابع دیگر و با در نظر گرفتن تمامی محدودیت‌های مدل حساب کرد. از آن‌جایی‌که هرچه توابع هدف به مقدار بهینه‌ی خود نزدیک‌تر باشند برای ما مطلوب‌تر است، به دنبال تابع هدفی هستیم که با استفاده از آن، همه‌ی توابع هدف به مقدار بهینه‌ی خود نزدیک شوند [31].

یک ویژگی معروف اندازه‌گیری L-P آن است که هنگامی‌که P افزایش می‌یابد، فاصله‌ی L-P کاهش می‌یابد و بزرگ‌ترین انحراف با یک تأکید مضاعف، در قالب کلی محسوب می‌گردد. در حالتی که $P \to \infty$ میل کند، بزرگترین انحراف بیانگر فاصله بوده و فرمول ریاضی این مدل به صورت رابطه‌ی (۴۰) خواهد بود:

$$\text{Min: } y \qquad (۴۰)$$

$$\text{s.t:} \quad w_j\left(\frac{Z_j^*-Z_j}{Z_j^*}\right) \leq y \qquad j=1,2,...,k$$
$$g_j(x_1,x_2,...,x_n) \gtreqless b_i \qquad i=1,2,...,m$$
$$x_s \geq 0 \qquad s=1,2,.....,n$$

لازم به ذکر است که مدل (۴۰) برای اهدافی که به صورت بیشینه هستند، تعریف شده‌است، بنابرین در صورتی‌که با اهداف کمینه مواجه بودیم باید آن‌ها را با ضرب در یک منفی به اهداف بیشینه تبدیل نماییم. همچنین w_j نشان‌دهنده‌ی درجه‌ی اهمیت (وزن) هدف j ام می‌باشد که در این مقاله برابر با یک فرض شده‌است. با توجه به توضیحات ارایه شده، گام‌های بهینه سازی چند هدفه در مدل ترکیبی پیشنهادی، به صورت زیر خواهد بود:

گام اول: برای حل این مدل ترکیبی با استفاده از روش معیار جامع در ابتدا باید همه‌ی اهداف را به صورت بیشینه تعریف کنیم. بر همین اساس، تابع هدف Z_2 را با ضرب در یک منفی به هدف بیشینه در رابطه‌ی (۴۱) تبدیل می‌کنیم:

$$\text{Max}\left(-\sum_{a\in M_A} c_A x_a - \sum_{h\in M_H} c_H y_h - \sum_{r\in M_R} c_R z_r\right) + \sum_{j\in NUP} uc_j \varepsilon \qquad (۴۱)$$

1- LP-metric

گام دوم: در این گام، نقطه‌ی مبنا یا ایده‌آل را برای هر یک از اهداف، به صورت جداگانه به دست می‌آوریم. به این منظور، مدل ترکیبی SCBM و رتبه‌بندی کامل بازه‌ای را یک بار با تابع هدف Z_1 و تمام محدودیت‌ها و بار دوم با تابع هدف Z_2 و تمام محدودیت‌ها با استفاده از نرم‌افزار Lingo 8.0 [32] حل می‌کنیم.. پس از حل این مدل ترکیبی با تابع هدف Z_1، نقطه‌ی مبنا برای این تابع هدف به دست می‌آید. این مقدار برابر با شش است. در مرحله‌ی بعدی، نقطه‌ی مبنا را برای تابع هدف Z_2 محاسبه می‌کنیم. این مقدار برابر با ۱۴۵۰- می‌باشد.

گام سوم: مقادیر به دست‌آمده را در مدل (۴۰) جایگزین کرده و مدل تک‌هدفه‌ی حاصل را با در نظر گرفتن تمامی محدودیت‌های مدل ترکیبی پیشنهادی، با استفاده از رابطه‌ی (۴۲) حل می‌کنیم:

$$\text{Min: } y \qquad (۴۲)$$

$$\text{s.t}: \frac{6-Z_1}{6} \le y \quad , \quad \frac{-1450-Z_2}{-1450} \le y$$

اگرچه روش‌های کلاسیک در بهینه‌سازی مسائل چندهدفه به کمک ما می‌آیند اما این روش‌ها در هم‌گرایی به جواب بهینه به یک جواب ابتدایی وابسته هستند و تمایل به چسبندگی به یک جواب زیر بهینه دارند. علاوه بر این، این روش‌ها فقط در مسائلی که دارای فضای جواب گسسته هستند کارایی دارند. برای غلبه بر این مشکلات می‌توان از الگوریتم‌های تکاملی بهره گرفت. در این مقاله، به منظور مقایسه‌ی جواب‌های مدل تک‌هدفه‌ی حاصل از LP متریک از الگوریتم ژنتیک (GA) و برای حل مدل دوهدفه از الگوریتم ژنتیک مرتب‌سازی نامغلوب‌ها (NSGA-II)[1] استفاده شده است.

به دلیل پیچیدگی مدل ارایه شده، در هر دو الگوریتم پیشنهادی، از کروموزوم‌های چندرشته‌ای استفاده شده است. همچنین نوع عملگر تقاطع، تک نقطه‌ای و نوع عملگر جهش، جابجایی است. علاوه بر این، با به کارگیری روشی ابتکاری در هر دو الگوریتم، همواره مسائل تولید شده، شدنی بوده و تمام جواب‌های ایجادشده در ناحیه‌ی موجه فضای جستجو قرار دارند، به همین دلیل نیازی به استفاده از تکنیک‌های معمول برای حذف، تبدیل جواب‌های ناموجه به جواب‌های موجه و یا کاهش احتمال حضور جواب‌های ناموجه وجود ندارد. در این مقاله، زمانی الگوریتم‌های پیشنهادی متوقف می‌شود که به ماکزیمم تکرار یا تعداد نسل از پیش تعیین‌شده برسند.

٦- تنظیم پارامتر

از آن‌جا که عملکرد یک الگوریتم فرا ابتکاری تا حد زیادی به مقادیر پارامترهای ورودی، وابسته است اگر این پارامترها به طور صحیح تنظیم نگردند، باعث ناکارآمدی الگوریتم خواهند شد. به همین دلیل، در این مقاله از روش رویه‌ی سطح پاسخ (RSM)[2] برای تنظیم پارامتر در هر دو الگوریتم GA و NSGA-II، استفاده شده‌است. در طراحی آزمایش‌ها، ابتدا پارامترهایی که بر روی الگوریتم تأثیر می‌گذارند شناسایی شده و سپس بر مبنای بهترین معادله‌ی رگرسیونی در سطوح مختلف پارامترها، مقادیر مطلوب برای تنظیم پارامترها ارایه می‌شوند. جدول‌های (۴) (۵) به ترتیب، سطوح پارامترها و پارامترهای تنظیم‌شده در الگوریتم GA و NSGA-II را برای مدل پیشنهادی ارایه می‌دهد.

لازم به ذکر است که در این مقاله، برای هر یک از پارامترهای مؤثر، دو سطح در نظر گرفته می‌شود. ۱- بیانگر سطح پایین و ۱+ بیانگر سطح بالای پارامتر است. برای کدگذاری سطوح بینابین، می‌توان از رابطه‌ی (۴۳) استفاده کرد که در آن ، l و h به ترتیب، بیانگر سطح پایین و بالای پارامترهای مورد نظر و x_i و r_i به ترتیب، بیانگر مقدار کدبندی شده و مقدار واقعی پارامترها هستند.

$$X_i = \frac{r_i - (\frac{h+l}{2})}{(\frac{h-l}{2})} \qquad (۴۳)$$

۷- نتایج حاصل از طراحی مثال‌های عددی

از آنجا که در ادبیات مدل‌های مکان‌یابی-پوشش و تحلیل پوششی داده‌ها مسأله‌ای برای مدل ترکیبی پیشنهادی، ارایه نشده‌است، در این مقاله، ۳۰ مسأله‌ی آزمایشی تولید کرده‌ایم. گام اول در تولید این مثال‌ها، تغییر مقادیر اندیس‌هاست. مدل ترکیبی پیشنهادی دارای شش اندیس می‌باشد که عبارتند از تعداد مکان‌های بالقوه برای استقرار آمبولانس زمینی (a)، تعداد مکان‌های بالقوه برای استقرار آمبولانس هوایی (h)، تعداد مکان های بالقوه برای استقرار نقاط فرود (r)، تعداد نقاط و مسیرهای تصادف (j)، تعداد ورودی‌های مکان استقرار آمبولانس‌ها (i) و تعداد خروجی‌های مکان استقرار آمبولانس‌ها (o).

واضح است که با تغییر مقادیر اندیس‌ها در هر مثال، ابعاد پارامترهای وابسته نیز تغییر می‌کند. در این مقاله، فرض می‌شود پارامترها دارای یک توزیع یکنواخت هستند و به صورت تصادفی تولید می‌شوند. به عنوان مثال، پارامترهای مربوط به هزینه به اینصورت تعریف می‌شوند:

$c(a) \sim U[100,500]$, $c(h) \sim U[1000,5000]$, $c\text{I} \sim U[500,700]$.

همچنین می‌توان هر مؤلفه از پارامترهای ماتریسی مدل پیشنهادی را به اینصورت تعریف کرد:

$B^l(o,a)$,$\beta^l(o,h)$ $D^l(i,a)$, $\alpha^l(i,h) \sim U[0,0/5]$,

$B^u(o,a)$,$\beta^u(o,h)$ $D^u(i,a)$, $\alpha^u(i,h) \sim U[0/5,1]$.

ماتریس‌های $A(a,j)$، $A(h,j)$ و $A(a,j,h,r)$ نیز دارای درایه‌های صفر و یک هستند.

لازم به ذکر است که الگوریتم‌های فرا ابتکاری پیشنهادی، با نرم‌افزار Matlab نسخه‌ی 7.11.00584[33] بر روی یک نوت‌بوک با چهار گیگا بایت حافظه و پردازشگر Core i5 کد شده‌اند. همچنین نرم‌افزار Lingo 8.0[32] به منظور بررسی صحت مدل و کیفیت جواب‌های تولیدی در الگوریتم GA استفاده شده‌است. با این وجود، به دلیل پیچیدگی مسائل پیشنهاد شده، نرم‌افزار Lingo تنها برای مسائل سایز کوچک قابل اجراست.

2- Non-dominated Sorting Genetic Algorithm
1- Response Surface Methodology

باید به این نکته توجه شود که در این حالت، توابع هدف مدل پیشنهادی، به روش LP متریک، یکپارچه شده‌اند. جدول (۶) نتایج حاصل از به کارگیری الگوریتم GA و نرم‌افزار Lingo را در مثال‌های طراحی شده، نشان می‌دهد.

داده‌های جدول (۶) نشان می‌دهند که الگوریتم GA با دقت زیادی عمل کرده‌است. حال با استفاده از شاخص‌های MID، RAS، SM، NPS و Time به بررسی عملکرد الگوریتم NSGA-II در ۳۰ مسأله‌ی طراحی‌شده برای مدل ترکیبی پیشنهادی می‌پردازیم. جدول (۷) نتایج را نشان می‌دهد.

۸- نتیجه‌گیری

بی‌شک هدف اصلی مدل‌های پوشش که نوع تکامل یافته‌ای از مدل‌های مکان‌یابی-تخصیص هستند، کمینه کردن هزینه‌های مکان‌یابی و تخصیص یا بیشینه کردن میزان پوشش یا توان پاسخگویی به تقاضا است. با وجود سهم چشمگیر مباحث و مدل‌های مطرح شده در ادبیات مکان‌یابی، تفاوت‌های بارزی در نحوه ارائه مدل‌ها وجود دارد که مستقیما هدف طراحان را توجیه کرده و به جنبه‌های بارز مدنظر آنها اشاره دارد که خود برگرفته از کمبودها و نقایص این مدل‌ها بوده و در حوزه کاربردی رخ می‌نماید.

در این تحقیق، با تکیه بر مفهوم خدمات اضطراری، تسریع فرآیند خدمت‌رسانی اهمیت می‌یابد. به این منظور، از دو نوع متفاوت آمبولانس زمینی و هوایی برای خدمت‌رسانی به بیماران بدحال استفاده شده و مفهوم پوشش پشتیبانی در صورت عدم دسترس پذیری نزدیکترین خدمت‌دهنده، به کار گرفته شده تا بیمار منتظر نماند. تسریع فرآیند خدمت‌رسانی در اولویت قرار دارد اما برای جلوگیری از ترتیب تصادفی مکان‌های تسهیلات، علاوه بر فاکتور نزدیکی به جاده‌هایی که سابقه تصادف بیشتری دارند، مکان تسهیلات نیز به عنوان فاکتور ورودی در نظر گرفته شده تا کارایی آن بررسی شده و انتخاب مناسب‌تری در ارسال خدمت‌دهنده صورت گیرد. مدل رتبه بندی کامل به این منظور با نیازمندی‌های پوشش همراه شده‌است.

مورد دیگری که نمی‌توان از اهمیت آن گذشت وابستگی نتایج به ورودی-هاست و در نظر گرفتن داده‌های دقیق، عدم قطعیت موجود در فضای واقعیت را در نظر نمی‌گیرد و بنابرین نتایج منطقی را به دنبال نخواهد داشت. بنابرین با ورود مدل تلفیقی اصلاح‌شده به یک محیط بازه‌ای، شرایط عدم قطعیت نیز لحاظ شده و مدل جامعی پیشنهاد شده که نیازمندی‌های کاربردی را به صورت گسترده‌تری برآورده کرده و از نظر زمانی مقرون به صرفه است.

به دلیل این‌که مدل‌های ارایه‌شده، چندهدفه و در نتیجه Np-hard هستند، تکنیک‌های فرا ابتکاری مانند الگوریتم ژنتیک مرتب‌سازی نامغلوب‌ها به منظور حل این مدل‌ها در اندازه‌های واقعی و با زمان محاسباتی قابل‌قبول توسعه یافته‌اند. سپس با توجه به این‌که عملکرد الگوریتم‌های فرا ابتکاری، تا حد زیادی به مقادیر پارامترهای ورودی آن‌ها وابسته است، از روش RSM به منظور تنظیم پارامتر در الگوریتم‌های پیشنهادی استفاده شده‌است.

RSM یک تکنیک مبتنی بر اطلاعات است که وقتی اطلاعات دقیقی در دسترس است، عملکرد مناسبی دارد. محبوبیت این روش به دلیل سهولت استفاده، سرعت در محدوده گسترده‌ای از کاربردهای صنعتی و هزینه کم آن است. زمانی که پیچیدگی محصول یا فرآیند زیاد می‌شود، تقاضا برای مهارت‌های فردی افزایش می‌یابد. بنابرین تعریف مجدد مهارت‌ها در حیطه هوشمند تکنولوژی اهمیت می‌یابد. در هر محیطی که دارای تکنولوژی هوشمند است، افراد با مراجعه به اصول اولیه نمی‌توانند عملکرد صحیح را تشخیص دهند بلکه در چنین شرایطی آزمایش و پیش تولید کارساز است. RSM با صرف کمترین هزینه، زمینه را برای آزمایش‌های مناسب فراهم می‌کند.

در نهایت، کارایی مدل‌ها و روش‌های حل پیشنهادی با استفاده از مسائل آزمایشی طراحی‌شده در ابعاد مختلف، ارزیابی شده‌است. نتایج، حاکی از آن است که مدل پیشنهادی علیرغم بررسی همزمان فرضیات اشاره شده، عملکرد مطلوبی داشته و هیچ یک از فرضیات، ناقض یکدیگر نیستند. به عبارت دیگر نیازمندی‌های پوشش، هزینه، کارایی، و عدم قطعیت در کمترین زمان ممکن برآورده شده‌است بدون اینکه تغییر شگرفی در زمان پیاده سازی الگوریتم یا هزینه‌های استقرار تسهیلات مشاهده شود.

از آن‌جاکه مدل‌های پوشش دارای فرضیات متنوعی هستند می‌توان با تمرکز بر این فرضیات به زمینه‌های مختلف تحقیقات آینده پی برد. از این دسته می‌توان به مدل‌های پوشش با تسهیلات غیرمشابه، مدل‌های پوشش با شعاع پوشش متفاوت، مدل‌های پوشش وابسته به زمان، مدل های پوشش با پارامترهای احتمالی و فازی و مدل‌های پوشش چندهدفه با توابعی غیر از هزینه اشاره کرد.

علاوه بر فرضیات، تمرکز بر روی روش‌های حل، یکی دیگر از حوزه‌های کاربردی برای تحقیقات آینده محسوب می‌شود. به عنوان مثال، جایگزین کردن GA با سایر الگوریتم‌های حل مانند Simulated Annealing و Tabu Search، امکان استفاده از سیستم‌های هیبریدی برای حل مدل، استفاده از تکنیک‌های حل برنامه‌ریزی تصادفی و توسعه‌ی روش‌های ابتکاری بهتر، می‌تواند راه گشا باشد.

۹-ضمائم

جدول (۱): جدول Pay-off

Pay- off Table	(u_o^{*1}, v_i^{*1})	(u_o^{*2}, v_i^{*2})	(u_o^{*3}, v_i^{*3})	. . . .	(u_o^{*p}, v_i^{*p})	. . . .	(u_o^{*n}, v_i^{*n})
DMU_1	$\frac{\sum_{o=1}^{s} u_o^{*1} B_{o1}}{\sum_{i=1}^{w} v_i^{*1} D_{i1}}$	$\frac{\sum_{o=1}^{s} u_o^{*2} B_{o1}}{\sum_{i=1}^{w} v_i^{*2} D_{i1}}$	$\frac{\sum_{o=1}^{s} u_o^{*3} B_{o1}}{\sum_{i=1}^{w} v_i^{*3} D_{i1}}$	. . . .	$\frac{\sum_{o=1}^{s} u_o^{*p} B_{o1}}{\sum_{i=1}^{w} v_i^{*p} D_{i1}}$	. . . .	$\frac{\sum_{o=1}^{s} u_o^{*n} B_{o1}}{\sum_{i=1}^{w} v_i^{*n} D_{i1}}$
DMU_2	$\frac{\sum_{o=1}^{s} u_o^{*1} B_{o2}}{\sum_{i=1}^{w} v_i^{*1} D_{i2}}$	$\frac{\sum_{o=1}^{s} u_o^{*2} B_{o2}}{\sum_{i=1}^{w} v_i^{*2} D_{i2}}$	$\frac{\sum_{o=1}^{s} u_o^{*3} B_{o2}}{\sum_{i=1}^{w} v_i^{*3} D_{i2}}$	. . . .	$\frac{\sum_{o=1}^{s} u_o^{*p} B_{o2}}{\sum_{i=1}^{w} v_i^{*p} D_{i2}}$	. . . .	$\frac{\sum_{o=1}^{s} u_o^{*n} B_{o2}}{\sum_{i=1}^{w} v_i^{*n} D_{i2}}$
DMU_3	$\frac{\sum_{o=1}^{s} u_o^{*1} B_{o3}}{\sum_{i=1}^{w} v_i^{*1} D_{i3}}$	$\frac{\sum_{o=1}^{s} u_o^{*2} B_{o3}}{\sum_{i=1}^{w} v_i^{*2} D_{i3}}$	$\frac{\sum_{o=1}^{s} u_o^{*3} B_{o3}}{\sum_{i=1}^{w} v_i^{*3} D_{i3}}$	. . . .	$\frac{\sum_{o=1}^{s} u_o^{*p} B_{o3}}{\sum_{i=1}^{w} v_i^{*p} D_{i3}}$	. . . .	$\frac{\sum_{o=1}^{s} u_o^{*n} B_{o3}}{\sum_{i=1}^{w} v_i^{*n} D_{i3}}$
. .	. .	. .	. .	. .	. .	. .	. .
DMU_p	$\frac{\sum_{o=1}^{s} u_o^{*1} B_{op}}{\sum_{i=1}^{w} v_i^{*1} D_{ip}}$	$\frac{\sum_{o=1}^{s} u_o^{*2} B_{op}}{\sum_{i=1}^{w} v_i^{*2} D_{ip}}$	$\frac{\sum_{o=1}^{s} u_o^{*3} B_{op}}{\sum_{i=1}^{w} v_i^{*3} D_{ip}}$	. . . .	$\frac{\sum_{o=1}^{s} u_o^{*p} B_{op}}{\sum_{i=1}^{w} v_i^{*p} D_{ip}}$	. . . .	$\frac{\sum_{o=1}^{s} u_o^{*n} B_{op}}{\sum_{i=1}^{w} v_i^{*n} D_{ip}}$
. .	. .	. .	. .	. . . .	. .	. . . .	. .
DMUn	$\frac{\sum_{o=1}^{s} u_o^{*1} B_{on}}{\sum_{i=1}^{w} v_i^{*1} D_{in}}$	$\frac{\sum_{o=1}^{s} u_o^{*2} B_{on}}{\sum_{i=1}^{w} v_i^{*2} D_{in}}$	$\frac{\sum_{o=1}^{s} u_o^{*3} B_{on}}{\sum_{i=1}^{w} v_i^{*3} D_{in}}$	. . . .	$\frac{\sum_{o=1}^{s} u_o^{*p} B_{on}}{\sum_{i=1}^{w} v_i^{*p} D_{in}}$	. . . .	$\frac{\sum_{o=1}^{s} u_o^{*n} B_{on}}{\sum_{i=1}^{w} v_i^{*n} D_{in}}$

جدول (۲): تعریف نمادهای مدل ترکیبی پیشنهادی

پوشش پشتیبانی	مجموعه‌ها	M_A	مجموعه‌ای از مکان‌های بالقوه‌ی آمبولانس زمینی
		M_H	مجموعه‌ای از مکان‌های بالقوه‌ی آمبولانس هوایی
		M_R	مجموعه‌ای از مکان‌های بالقوه‌ی نقاط فرود
		N	مجموعه‌ای از همه‌ی نقاط تصادف
		P	مجموعه‌ای از همه‌ی مسیرهای تصادف
	پارامترها	c_A	هزینه‌ی استقرار یک آمبولانس زمینی
		c_H	هزینه‌ی استقرار یک آمبولانس هوایی
		c_R	هزینه‌ی استقرار یک مکان فرود
		$A_{aj}(A_{ak})$	اگر مکان بالقوه‌ی آمبولانس زمینی a گره j (مسیر k) را پوشش دهد برابر با یک و در غیر اینصورت، برابر با صفر است.
		$A_{hj}(A_{hk})$	اگر آمبولانس هوایی بتواند در گره j (مسیر k) فرود آید و مکان بالقوه‌ی آمبولانس هوایی h گره j (مسیر k) را پوشش دهد برابر با یک و در غیر اینصورت، برابر با صفر است.
		$A_{ahrj}(A_{ahrk})$	اگر مکان بالقوه‌ی آمبولانس زمینی a، آمبولانس هوایی h و نقطه‌ی فرود r، گره j (مسیر k) را پوشش دهد برابر با یک و در غیر اینصورت، برابر با صفر است.
	متغیرها	x_a	اگر آمبولانس زمینی در مکان a مستقر شود برابر با یک و در غیر اینصورت، برابر با صفر است.
		y_h	اگر آمبولانس هوایی در مکان h مستقر شود برابر با یک و در غیر اینصورت، برابر با صفر است.
		z_r	اگر نقطه‌ی فرود در مکان r مستقر شود برابر با یک و در غیر اینصورت، برابر با صفر است.
		uc_j	اگر گره/مسیر j توسط حداقل یکی از آمبولانس‌های هوایی پوشش یابد برابر با یک است و اگر گره/مسیر j توسط حداقل دو آمبولانس زمینی و یک ترکیب پوشش یابد برابر با صفر است.
		va_{ja}	اگر گره/مسیر j توسط آمبولانس زمینی a پوشش یابد برابر با یک و در غیر اینصورت، برابر با صفر است.

		$l_{ahr}=x_a y_h z_r$	اگر آمبولانس زمینی، هوایی و نقطه‌ی فرود به ترتیب در مکان‌های a، h و r مستقر شوند برابر با یک و در غیر اینصورت، برابر با صفر است.

جدول (۳): نمادهای مربوط به رتبه‌بندی کامل بازه‌ای در مدل ترکیبی پیشنهادی

رتبه‌بندی کامل بازه‌ای	مجموعه‌ها	o	مجموعه‌ی خروجی‌های یک واحد تصمیم‌گیری (آمبولانس زمینی/هوایی)
		i	مجموعه‌ی ورودی‌های یک واحد تصمیم‌گیری (آمبولانس زمینی/هوایی)
	پارامترها	B^l_{oa}	حد پایین خروجی o ام واحد تصمیم‌گیری a (آمبولانس زمینی a)
		B^u_{oa}	حد بالای خروجی o ام واحد تصمیم‌گیری a (آمبولانس زمینی a)
		β^l_{oh}	حد پایین خروجی o ام واحد تصمیم‌گیری h (آمبولانس هوایی h)
		β^u_{oh}	حد بالای خروجی o ام واحد تصمیم‌گیری h (آمبولانس هوایی h)
		D^l_{ia}	حد پایین ورودی i ام واحد تصمیم‌گیری a (آمبولانس زمینی a)
		D^u_{ia}	حد بالای ورودی i ام واحد تصمیم‌گیری a (آمبولانس زمینی a)
		α^l_{ih}	حد پایین ورودی i ام واحد تصمیم‌گیری h (آمبولانس هوایی h)
		α^u_{ih}	حد بالای ورودی i ام واحد تصمیم‌گیری h (آمبولانس هوایی h)
	متغیرها	u_{oa}	وزن خروجی o ام واحد تصمیم‌گیری a (آمبولانس زمینی a)
		μ_{oh}	وزن خروجی o ام واحد تصمیم‌گیری h (آمبولانس هوایی h)
		v_{ia}	وزن ورودی i ام واحد تصمیم‌گیری a (آمبولانس زمینی a)
		γ_{ih}	وزن ورودی i ام واحد تصمیم‌گیری h (آمبولانس هوایی h)
		k_{oa} و ω_{oh} و q_{ia} و φ_{ih}	ضرایب غیرمنفی (مقادیر λ و λ' در رتبه‌بندی بازه‌ای)

جدول (٤): سطوح پارامترها و پارامترهای تنظیم‌شده برای الگوریتم GA در مدل ترکیبی پیشنهادی

فاکتورها	بازه‌های تخصیص‌یافته	سطوح			پارامترهای تنظیم‌شده	
		سطح۱ -۱	سطح۲ ۰	سطح۳ ۱	مقادیر کدبندی شده	مقادیر واقعی
(A) اندازه‌ی جمعیت	[۱۰۰، ۲۰۰]	۱۰۰	۱۵۰	۲۰۰	۰/٦۲۳۹۷۲٦	۱۸۲
(B) تعداد نسل‌ها	[۱۰۰، ۲۰۰]	۱۰۰	۱۵۰	۲۰۰	۰/۷٦۱۳٤٦۰	۱۸۲
(C) احتمال عملگر تقاطع	[۰/۸، ۰/۹۵]	۰/۸	۰/۸۷۵	۰/۹۵	-۰/٤۳۳۲۰۹٦	۰/۸٤۲۵
(D) احتمال عملگر جهش	[۰/۰۵، ۰/۲]	۰/۰۵	۰/۱۲۵	۰/۲	-۰/۹۱٤٤۸۸۳	۰/۰۵٦٤
(E) نرخ نخبه‌گرایی	[۰/۱، ۰/۵]	۰/۱	۰/۳	۰/۵	-۰/٦۷۰۵٦۹٦	۰/۱٦۵۹
(F) شرط توقف	[۳۰، ۷۰]	۳۰	۵۰	۷۰	۰/۹۷٦۲۷۷۳	٦۹

جدول (۵): سطوح پارامترها و پارامترهای تنظیم‌شده برای الگوریتم NSGA-II در مدل ترکیبی پیشنهادی

فاکتورها	بازه‌های تخصیص‌یافته	سطوح			پارامترهای تنظیم‌شده	
		سطح۱ -۱	سطح۲ ۰	سطح۳ ۱	مقادیر کدبندی شده	مقادیر واقعی
(A) اندازه‌ی جمعیت	[۱۰۰، ۲۵۰]	۱۰۰	۱۷۵	۲۵۰	۰/۳۳۳۳۳۳	۲۰۰
(B) تعداد نسل‌ها	[٤۰، ۱۰۰]	٤۰	۷۰	۱۰۰	-۰/٦٦٦٦٦٦	۵۰
(C) احتمال عملگر تقاطع	[۰/۸، ۱]	۰/۸	۰/۹	۱	۰/۵۰۰۰۰۰	۰/۹۵
(D) احتمال عملگر جهش	[۰/۰۱، ۰/۲]	۰/۰۱	۰/۱۰۵	۰/۲	-۰/۵۷۸۹٤۷	۰/۰۵
(E) نرخ نخبه‌گرایی	[۰/۰۱، ۰/۵]	۰/۰۱	۰/۲۵۵	۰/۵	-۰/٦۳۲٦۵۳	۰/۱

جدول (٦): نتایج حاصل از اجرای الگوریتم GA و نرم‌افزار Lingo در مثال‌های طراحی شده

شماره‌ی مسأله	GA		Lingo
	objective function	Time(sec)	objective function
۱	۰	۷/٤۹۸٤	۰
۲	−۰/۳۳۳۳۳	۷/۱۳۳۷	−۰/۳۳۳۳۳۳
۳	−۰/٦٦٦٦٦٦۷	۱۰/۲۰٥٤	−۰/٦٦٦٦٦٦۷
٤	−۰/٦٦٦٦۷	۱۲/۸۱۷۱	−۱
٥	−۰/۳۳۳۳۳	۲٥/۱۰۰٤	−۱
٦	−۱/٦٦٦٦۷	۱٥/۷٥۱۹	−۱/٦٦٦٦٦۷
۷	−۲	۳۱/٦۹۱۱	−۲/۰۰۰۰۰
۸	−۲/۳۳۳۳	۲٤/۰۳٥٦	−۲/۳۳۳۳۳۳
۹	−۲/٦٦٦٦	٥۹/۲٤۹۳	−۲/٦٦٦٦٦
۱۰	−۲/۹۹۹۹	٥۰/٦٦٦۲	−۳/۰۰۰۰۰
۱۱	−۳/۳۳۳۳	٥۳/٤۹٦٥	−۳/۳۳۳۳۳
۱۲	−۳/٦٦٦٦	٥٤/٤۳۷۰	−۳/٦٦٦٦٦٦
۱۳	−۳/۹۹۹۹	٥۸/۳۳٥۲	−٤/۰۰۰۰۰۰
۱٤	−٤/۳۳۳۳	۱۰۸/۱۰٤۰	−٤/۳۳۳۳۳۳
۱٥	−٤/٦٦٦۷	۱۳٦/۹٦۳	−٤/٦٦٦٦٦۷
۱٦	−٥	۲۱٦/۲٥۳۳	−٥/۰۰۰۰۰۰
۱۷	−٥/۳۳۳۳	۱۳۳/۲۰۲٤	-
۱۸	−٥/٦٦٦۷	۳۷۲/۱۳۳۹	-
۱۹	−٦	۱۹۳/۳۸۷۸	-
۲۰	−٦/۳۳۳۳	٤۹۹/۰۳٤٤	-
۲۱	−٦/٦٦٦۷	۳٤۳/۲۳۳۳	-
۲۲	−۷	٦۳۹/٦۲۸۲	-
۲۳	−۷/۳۳۳۳	۳۱٦/۳۷۸٦	-
۲٤	−۷/٦٦٦۷	۳۷۷/٤۲٥۸	-
۲٥	−۸	٥٤۳/٥٥۰٦	-
۲٦	−۸/۳۳۳۳	۱۰۷۸/۰۹٦۷	-
۲۷	−۸/٦٦٦۷	٥۷٤/۷۷۱۹	-
۲۸	−۹	۱٥٤۲/٤۱۱۲	-
۲۹	−۹/۳۳۳۳	۱٥٦۹/۷۳۹٥	-
۳۰	−۹/٦٦٦۷	۱۱۹۱/۰۷٤۲	-

جدول (۷): نتایج حاصل از اجرای الگوریتم NSGA-II در مثال‌های طراحی شده

شماره‌ی مسأله	شاخص				
	MID	RAS	SM	NPS	Time(sec)
۱	۰/۷٤۸۱	۰/۹٤۲۳	۰/۷۳۰۸	٥	۷۳/۰۹۱۳
۲	۰/۸۳۳۹	۰/۹۰۳۲	۰/۷۲۸۳	۷	۷۳/٤۸۲٥
۳	۰/۸٥۰۳	۰/۸۸۳۲	۰/٤۹٥۱	۷	۷۰/٤٦۹۳
٤	۰/۷۰۷۷	۰/۸۹۸۹	۰/۷٥۸۱	۸	٦٥/٤۳۷۳
٥	۰/۷۳٦۳	۰/۸۷۸۹	۰/٦٦۹۲	۹	٦۷/۹٤۷٤
٦	۰/٦۷۸۳	۰/۸٤۳۰	۱/۱۱۹۷	۱۱	٦٥/۰۰۰٦
۷	۰/۷٤۱٦	۰/۷۳٦۰	۰/٦٥۳۲	۹	۷٤/۰٥٥۸
۸	۰/٦۸٤۸	۰/۸٤۲۳	۱/۱۳۸۲	۱۱	۷٤/۸۳۳۲
۹	۰/۷۳۷۸	۰/۸۷۳۸	۰/۷۸۲۰	۱۱	۸۰/۹۷۱٥
۱۰	۰/۷۰۷۸	۰/۷۷۲۳	۰/۹٥٤٤	۱۱	۷۹/۳۸۹۹
۱۱	۰/۷٥۰۲	۰/۷۸٤۳	۰/۹۰۷۷	۱۲	۸۷/۳۲۱۱
۱۲	۰/٦٦٥٦	۰/۸۰۰۹	۱/۲٤٤٥	۱۳	۸۹/۷٥۳۷
۱۳	۰/٦٥٤۲	۰/۷۷٤۲	۱/۰۰۰۰	۱۷	۹٤/۹۷۰۲
۱٤	۰/٦٤۳۱	۰/۷۳٦۸	۱/۰۰۹۷	۱٤	۱۰۷/۲٦۷۸
۱٥	۰/۷٤٦۱	۰/۷٤۳٥	۰/۸۲۰۰	۱۷	۱۲۰/۳۷٦٦
۱٦	۰/۷۷٦۲	۰/۸۲٤۲	۰/٦۲٥٦	۱۳	۱۳۸/۸۲٦۳
۱۷	۰/٦٦۷٥	۰/۸۰۷۳	۱/۱۱٥۰	۱٤	۱٦۸/۱٥۹۰
۱۸	۰/۸۱۹۷	۰/۸۱۲۹	۰/٦۹۰٦	۱٤	۱۷٤/۱۱۸۷
۱۹	۰/۷٤۸٥	۰/۹۰٦٦	۰/۹٦۱۲	۱٦	۲۱٦/۹۸۳٥
۲۰	۰/۷۰۲۳	۰/۸٦٦۳	۱/۱۲۳۷	۱۷	۲۲۰/۳۸۹٥
۲۱	۰/۷۳٥٤	۰/۷۹۱٤	۱/۰٤۸۸	۱٤	۲۳۸/۰۳۹۱
۲۲	۰/۷۰۱۳	۰/۷۸٤۸	۱/۲٥۷۳	۱۱	۲۸۹/۷۱٤۸
۲۳	۰/٦٦۱٥	۰/۷٥۸٥	۱/٤۷۲٦	۱۸	۳۳۳/۰۷۱۸
۲٤	۰/۷٦۲۸	۰/۷۹۸٦	۰/۹٦۸۹	۱٤	۳۹۱/۹٤٤۳
۲٥	۰/۷۳۰۸	۰/۸۹٦٤	۰/۹٤۳۲	۱٤	٤۲۷/٦٥٦۱
۲٦	۰/۷۷۱۳	۰/۸۳۳۱	۱/۰٤۱٥	۱۳	٤۷۲/۲۷٦۸
۲۷	۰/۸۳۸۹	۰/۷۰۳٦	۱/۰۹٤۱	۱۱	٥۰٤/٦۱٥۲
۲۸	۰/۷٤٥٥	۰/۸۹۷۹	۱/۰۹٤۹	۱۷	٥۷٥/٤٤٤۷
۲۹	۰/۷٥۹٥	۰/٦۹٥۹	۱/۱٦٤۱	۱٥	٦٥۸/۰۷۹۳
۳۰	۰/۷۳٦۱	۰/۷٤۸۰	۱/۲۳۰٥	۲۱	٦۹۹/۲٦۷۲

۱۰- منابع و مأخذ

[1] Hakimi, S.L., (1965), **Optimum distribution of switching centers in a communication network and some related graph theoretic problems**, Operational Research 13, 462-475.

[2] Toregas, C., Swain, R., Revelle, C., Berman, L., (1971), **The location of emergency service facilities**, Operational Research 19, 1363-1373.

[3] Church, R.L., Revelle, C., (1974), **The maximal covering location problem**, Papers of the Regional Science Association 32, 101-118.

[4] Daskin, M.S., Stern, E.H., (1981), **A hierarchical objective set covering model for emergency medical service vehicle deployment**, Transportation Science 15, 137-152.

[5] Hogan, K., & Revelle, C., (1986), **Concepts and applications of backup coverage**, Management Science 32, 1434-1444.

[6] Revelle, C., & Hogan, K., (1989), **The maximum reliability location problem and a-reliable p-center problems**, Annals of Operational Research 18, 155-174.

[7] Pirkul, H., & Schilling, D., (1989), **The capacitated maximal covering location problem with backup service**, Annals of Operational Research 18, 141-154.

[8] Kolen, A., & Tamir, A., (1990), **Covering problems, Discrete Location Theory**, Wily, New York, 263-304.

[9] Daskin, M.S., (1995), **Networks and discrete location, In Models, Algorithms and Applications**, edited by John Wiley and Sons, New York, US.

[10] Owen, S.H., & Daskin, M.S., (1998), **Strategic facility location: A review.** European Journal of Operational Research 111, 423-447.

[11] Thomas, P., Chan, Y., Lehmkuhl, L., Nixon, W., (2002), **Obnoxious-facility location and data envelopment analysis: A combined distance-based formulation,** European Journal of Operational Research 141, 495-514.

[12] Lannoni, A.P., & Morabito, R., (2007), **A multiple dispatch and partial backup hypercube queuing model to analyze emergency medical systems on highways**, Transportation Research 43, 755-771.

[13] Baron, O., Berman, O., Kim, S., Krass, D., (2009), **Ensuring feasibility in location problems with stochastic demands and congestions**, IIE Transactions 41, 467-481.

[14] Berman, O., Drenzer, Z., Krass, D., Wesolowsky, G.O., (2009), **The variable radius covering problem**, European Journal of Operational Research 196, 516-525.

[15] Erdemir, E.T., Batta, R., Spielman, S., Rogerson, P.A., Blatt, A., Flanigan, M., (2010), **Joint ground and air emergency medical services coverage models: A greedy heuristic solution approach**, European Journal of Operational Research 207, 736-749.

[16] Lee, J.M., & Lee, Y.H., (2010), **Tabu based heuristics for the generalized hierarchical covering location problem**, Computers and Industrial Engineering 58, 638-645.

[17] Berman, O., & Wang, J., (2011), **The mini-max regret gradual covering location problem on a network with incomplete information of demand weights**, European Journal of Operational Research 208, 233-238.

[18] Wen, M., & Kang, R., (2011), **Some optimal models for facility location-allocation problem with random fuzzy demands**, Applied Soft Computing 11, 1202-1207.

[19] Moheb-alizade, H., Rasouli, S.M., Tavakkoli-mogaddam, R., (2011), **The use of multi-criteria data envelopment analysis for location-allocation problems in a fuzzy environment**, Expert Systems with Applications ,38, 5687-5695.

[20] Zanjirani, R., Asgari, N., Heidari, N., Hosseininia, M., Goh, M., (2012), **Covering problems in facility location: A review**, Computers and Industrial Engineering 62, 368-407.

[21] Ni, Y., (2012), **Minimum weight covering problems in stochastic environments**, Information Sciences 214, 91-104.

[22] Shieh, B.S., (2013), **Solution to the covering problem**, Information Sciences 222, 626-633.

[23] Zarandi, M.H., Davari, S., Haddad Sisakht, A., (2013), **The large-scale dynamic maximal covering location problem**, Mathematical and Computer Modeling 57, 710-719.

[24] Hosseininezhad, S.J., Jabalameli, M.S., Jalali Naini, S.G., (2014), **Fuzzy algorithm for continuous capacitated location allocation model with risk consideration**, Applied Mathematical Modelling 38, 983-1000.

[25] Alizadeh, M., Mahdavi, I., Mahdavi-Amiri, N., Shiripour, S., (2015), **A capacitated location-allocation problem with stochastic demands using sub-sources: An empirical study**, Applied Soft Computing 34, 551-571.

[26] Paul, J.A., MacDonald, L., (2016), **Location and capacity allocation decisions to mitigate the impacts of unexpected disasters**, European Journal of Operational Research 251, 252-263.

[27] Pual, N.R., Lunday, B. J., Nurre, S.G., (2017), **A multi objective, maximal conditional covering location problem applied to the relocation of hierarchical emergency response facilities**, Omega 66, 147-158.

[28] Peijun, G., (2009), **Fuzzy data envelopment analysis and its application to location problems**, Information Sciences 179, 820-829.

[29] Sohrabi-haghighat, M., & Khorram, E., (2005), **The maximum and minimum number of efficient units in DEA with interval data**, Applied Mathematics and Computation 163, 919-930.

[30] Tsou, C.S., (2009), **Evolutionary pareto optimizers for continuous review stochastic inventory systems**, European Journal of Operation Research 195, 364-371.

[31] Chou, S.Y., Chang, Y.H., Shen, C.Y., (2008), **A fuzzy simple additive weighting system under group decision making for facility location selection with objective/subjective attributes**, Journal of Operational Research 189, 132-145.

[32] Lingo, Release 8., (2010), IL Institute. USA.

[33] Matlab, Release 7.10.0.499., (2010), **The MathWorks Inc**, Natick, Massachussetts, USA.