پژوهش‌های نوین در تصمیم‌گیری
دوره 4، شماره 1، بهار 1398

ارائه مدل مکان‌یابی سلسله‌مراتبی پوششی با حالت چنددوره‌ای در شرایط عدم قطعیت

سمانه بابایی مراد[1]، حسن باقری[2]، جواد بهنامیان[3*]

1- دانش‌آموخته کارشناسی ارشد مهندسی صنایع، دانشگاه خوارزمی، تهران، ایران
2- دانش‌آموخته کارشناسی ارشد مهندسی صنایع، دانشگاه بوعلی سینا، همدان، ایران
3- دانشیار، گروه مهندسی صنایع، دانشکده مهندسی، دانشگاه بوعلی سینا، همدان، ایران

دریافت: 1397/3/12 پذیرش: 1397/10/4

چکیده

این پژوهش در زمینه مدل مکان‌یابی پوششی سلسله‌مراتبی با در نظر گرفتن رویکرد پویا و پارامترهای فازی (شعاع پوشش و مقدار تقاضا در دوره‌های مختلف به‌صورت فازی)، ارائه و بررسی می‌شود. هدف از این پژوهش، ارائه مدلی برای مکان‌یابی و تخصیص بیمارستان‌ها و ماشین‌های واسطه که شامل تخصیص بالگرد امداد و آمبولانس به نقاط تقاضا، به‌منظور استقرار و پوشش نقاط تقاضایی که در شعاع پوشش آن‌ها قرار دارند، است. در این پژوهش، احتمال مشغول بودن تسهیلات نیز در نظر گرفته شده است. جایگاه بیمارستان‌های فوق تخصصی، بیمارستان و کلینیک یک مرتبه مکان‌یابی می‌شود و در دوره‌های مختلف ثابت هستند. برای نزدیکی بیشتر به واقعیت از مفهوم فازی استفاده شده است. مکان تسهیلات خدماتی شامل آمبولانس‌ها و بالگرد در دوره‌های مختلف متغیر است و برای این جابجایی‌ها هزینه‌هایی نیز در نظر گرفته شده است. ماشین خدماتی، بیمارستان‌ها و کلینیک‌ها دارای محدودیت ظرفیت هستند. با توجه به اینکه هدف فقط صحه‌گذاری مدل است، از داده‌های عددی استفاده شده است. با استفاده از مثال عددی در مقیاس‌های کوچک از روش قطعی نرم‌افزار گمز و برای

* نویسنده مسئول مقاله: E-mail: Behnamian@basu.ac.ir

مقیاس‌های بزرگ‌تر از الگوریتم فراابتکاری مصنوعی زنبوران[1] و رقابت استعماری[2] استفاده شده است. برای صحه‌گذاری مدل پیشنهادی آن را با مدل بشیری و همکاران مورد مقایسه قرار داده‌ایم که نتایج عددی نشان دهنده کارایی مطلوب روش حل پیشنهادی و مدل مسئله است.

واژگان کلیدی: مکان‌یابی سلسله‌مراتبی؛ مکان‌یابی پوششی؛ مکان‌یابی پویا؛ مکان‌یابی تسهیلات اورژانس؛ مکان‌یابی فازی.

1- مقدمه

حوادث به‌عنوان بخشی از واقعیت‌های گریزناپذیر محسوب می‌شوند که عمدتاً کنترل وقوع آن‌ها خارج از عهده بشر است، اما می‌توان با انجام تدابیری اثرات ناشی از وقوع این حوادث را کاهش داد و به حداقل ممکن رساند. اگرچه بروز حوادث امری اجتناب‌ناپذیر است و خسارات ناشی از آن‌ها از جهات گوناگون به‌ویژه ازنظر مالی و احساسی قابل جبران نیست، ولی با اقدامات پیشگیرانه و برنامه‌ریزی‌های مناسب می‌توان به مقابله با این حوادث پرداخت و خسارت‌ها و خطرهای آن‌ها را به حداقل ممکن کاهش داد. یکی از چالش‌های پاسخگویی به این حوادث، دسترسی به محل حادثه و انتقال مجروحین یا بیماران به بیمارستان‌ها یا کلینیک‌ها در کمترین زمان ممکن است. درصد بالایی از مقالات ارائه‌شده در حوزه مکان‌یابی را می‌توان در سه دسته موضوعی دسته‌بندی کرد که عبارتند از: مکان‌یابی مناسب برای ایستگاه‌ها به‌منظور حداقل کردن فاصله ایستگاه‌ها و سایت‌های تقاضا برای افزایش کارایی زمان ارائه خدمت؛ حداقل کردن ایستگاه‌هایی که نقاط پوشش آن‌ها برهم منطبق هستند؛ تعیین معقول‌ترین تعداد ایستگاه با برقراری تعادل بین هزینه از دست دادن تقاضای برآورده نشده و هزینه ایجاد ایستگاه‌ها. یکی از مشهورترین مدل‌های مکان‌یابی که از اوایل علم مکان‌یابی مورد توجه بوده، مدل مکان‌یابی پوششی[3] است. مسئله پوشش به دو دسته کلی تقسیم می‌شود: مسئله مکان‌یابی

1. Artificial Bee Colony
2. Imperialist Competitive Algorithm
3. Covering Location Problem

حداکثر پوششی[1] و مسئله مکان‌یابی پوششی کل بدون توجه به نوع مسئله، یک جمعیت زمانی پوشش داده‌شده تلقی می‌شود که در یک فاصله زمانی یا مکانی از پیش تعیین‌شده‌ای نسبت به یک یا چند تسهیل قرار گرفته باشد. مکان‌یابی پوششیِ جزئی برای اولین بار توسط چارچ و ریول [1، ص437-452] بر روی مسئله شبکه معرفی شد. از آن زمان به بعد، کاربردها و توسعه‌های نظری متعددی روی مدل کلاسیک مکان‌یابی پوششی جزئی ارائه شده است. در این تحقیق، مدلی در چارچوب مکان‌یابی سلسله‌مراتبی پوششی با در نظر گرفتن رویکرد پویا و فازی (مقدار تقاضا در دوره‌های مختلف به‌صورت فازی) ارائه می‌شود که باتوجه به مطالعه مدل‌های فازی، ایده‌آل‌ترین روش برای مدل پیشنهادی روش یاگر است و احتمال مشغول‌بودن تسهیلات در آن موردبررسی قرار می‌گیرد. این مدل به‌منظور مکان‌یابی بیمارستان‌ها و ماشین‌های خدماتی برای استقرار و پوشش نقاط تقاضا که در شعاع آن‌ها قرار دارند، ارائه شده است. در این مدل، جایگاه بیمارستان‌ها یک‌بار مکان‌یابی می‌شود و در دوره‌های مختلف ثابت هستند. مکان تسهیلات خدماتی تخصیص داده‌شده به نقاط تقاضا برای پوشش آن نقطه و نقاط تقاضایی که در شعاع پوشش این نقطه تقاضا (نقاط بالقوه برای استقرار ماشین‌های خدماتی) قرار دارند، به‌صورت پویا است و می‌تواند در دوره‌های مختلف جابجا شود. در این مدل، محدودیت ظرفیت نیز ارائه شده است. پژوهش حاضر دارای دو فرض است که شامل مکان‌یابی سلسله‌مراتبی برای مطابقت بیشتر با واقعیت ازنظر مدل‌سازی پویایی محیط و در نظر گرفتن شرایط فازی است. روش پژوهش حاضر براساس تابع هدف، پژوهشی کاربردی-توسعه ای است. روش‌شناسی تحقیق به این صورت است که ابتدا مطالعه جامعی از مبانی نظری مسئله مکان‌یابی پوششی انجام شده و شکاف‌های موجود با در نظرگرفتن شرایط محیطی شناسایی شدند و متناسب با شکاف‌ها به تعریف مسئله پرداخته و مدلی ریاضی ارائه شد. با توجه به پیچیدگی مسئله، الگوریتم‌های فراابتکاری رقابت استعماری و زنبوران مصنوعی طراحی شدند. برای صحه‌گذاری مدل‌سازی ریاضی، مدل پیشنهادی به‌وسیله نرم‌افزار گمز، حل و نتایج آن با نتایج مدل پوشش تدریجی مقایسه شد. همچنین در ابعاد بزرگ‌تر،

1. Maximal Covering Location Problem

نتایج با الگوریتم شبیه‌سازی تبرید مقایسه شد که نشان دهنده کارایی بهتر الگوریتم رقابت استعماری بود. در انتها نیز نتیجه‌گیری و پیشنهادهای آتی آمده است.

2- پیشینه تحقیق

مکان‌یابی تسهیلات نقش عمده‌ای در زنجیره تأمین، به‌خصوص در تسهیلات تولیدی و خدماتی، دارد؛ به‌طوری‌که در دهه‌ی اخیر کانون توجه بسیاری از محققان شده است. به‌عنوان مقدمه‌ای جامع از مدل‌های مکان‌یابی می‌توان به مراجع ارزشمندی نظیر ریول و ایسلت [2، ص 19-1] اشاره کرد. مسئله مکان‌یابی تسهیلات گسسته به معنای یافتن زیرمجموعه بهینه در یک مجموعه از مکان‌های نامزد برای قرارگیری تسهیلات است. مسئله مکان‌یابی تسهیلات به‌طور گسترده‌ای در زمینه امکانات مراقبت‌های بهداشتی استفاده شده است [3، ص 123]. برای بررسی دقیق مبانی نظری درخصوص عدم‌قطعیت به مقالات متعددی مراجعه شده است. در فرآیندهای برنامه‌ریزی تصمیم‌گیری، عدم‌قطعیت یک عامل اصلی است که ممکن است اثربخشی پیکربندی و هماهنگی را تحت تأثیر قرار دهد [4، ص 24-1] و در این حالت، بررسی رویکرد برنامه‌ریزی ریاضی فازی که به‌صورت یکپارچه ضرایب فازی تابع هدف و محدودیت‌های فازی (ضرایب فنّاوری و مقادیر سمت راست) را در نظر می‌گیرد، ضروری است. در این زمینه، تحقیقات بسیاری انجام شده که برخی از آن‌ها نظیر [5، ص 1022-1016] مروری بر مدل برنامه‌ریزی ریاضی مطابق با مفاهیم فازی انجام شده هستند. نویسندگان، 15 نوع مدل ریاضی فازی را طبقه‌بندی کردند که ترکیبات ممکن از اجزای فازی را دربر دارد. مدل‌های قبلی در رابطه با مدل‌های مکان‌یابی هستند که به‌صورت پویا و فازی جداگانه این حوزه را موردبررسی قرار داده‌اند. این پژوهش با در نظر گرفتن شعاع پوشش و مقدار تقاضا به‌صورت پویا و فازی دارای اهمیت بیشتری نسبت به مدل‌های ارائه‌شده قبلی است. به‌منظور مقایسه بهتر مطالعات پیشین و تحقیق حاضر، و تشخیص شکاف‌های موجود در این زمینه، ویژگی‌های موردنظر در سایر مطالعات با تحقیق حاضر در جدول (1) بررسی و مقایسه شده است.

جدول 1 مقایسه مدل پیشنهادی با مدل‌های موجود

مرجع	پویایی		پوشش پشتیبان		فازی	سلسله‌مراتب			تسهیلات	
						چندسطحی		تک‌سطحی		
	تخصیص	جابجایی تسهیل	پشتیبان	کلاسیک		تک‌جریان	چندجریان		چند نوع	
مدل پیشنهادی	✓	✓		✓	✓		✓		✓	
[6، ص151-376]	✓	✓	✓				✓		✓	
[7، ص 1641-1653/7]		✓	✓				✓	✓		✓
[8، ص 814-826]							✓			✓
[9، ص1293-1303]			✓				✓			✓
[10، ص736 -749]							✓			✓
[11، ص638—645]				✓		✓		✓	✓	
[12، ص 2310-2333]				✓	✓		✓		✓	

3- مدل‌سازی

فرض کنید در یک منطقه مکان‌یابی بیمارستان تخصصی با سطوح خدمت‌دهی (اول، دوم، سوم و چهارم)، بیمارستان با سطوح خدمت‌دهی (اول، دوم وسوم)، کلینیک با سطوح خدمت‌دهی (اول و دوم)، بالگرد امداد و آمبولانس با سطح خدمت‌دهی (اول) و تخصیص نقاط تقاضا به این تسهیلات برای به دست آوردن حداکثر پوشش با در نظر گرفتن محدودیت‌هایی از قبیل ترافیک، پرخطر بودن بخشی از محدوده، تعداد مختلف اپراتورهای بالگرد و آمبولانس طی شیفت‌های مختلف زمانی و ظرفیت تسهیلات و فازی بودن مقدار تقاضا با در نظر گرفتن احتمال مشغول بودن مدنظر است. با توجه به غیرخطی بودن محدودیت‌ها آن‌ها را خطی کرده و وارد مدل شده است.

3-1- اجزای مدل

3-1-1- زیروندها (اندیس‌ها)

i: مجموعه نقاط نامزد برای قرارگیری آمبولانس؛ *b*: مجموعه نقاط نامزد برای قرارگیری بیمارستان؛ *h*: مجموعه نقاط نامزد برای قرارگیری بالگرد؛ *d*: مجموعه نقاط نامزد برای قرارگیری کلینیک؛ *r*: مجموعه نقاط نامزد برای قرارگیری بیمارستان فوق تخصصی؛ در توضیحات مسئله از E به نمایندگی از همه تسهیلات استفاده شده

است. همچنین i: مجموعه نقاط تقاضا، t: مجموعه دوره‌های زمانی، l: زیروند سطح خدمت و j: تعداد سری‌های مشغول بودن هر تسهیل هستند.

3-1-2- پارامترها

M ظرفیت پذیرش آمبولانس؛ $\tilde{d}_{iEt}^{f}$ حداکثر تقاضای i از تسهیل مکان E در دوره t؛ Z_{iEt} حداکثر شعاع پوشش داده‌شده نقطه تقاضای i توسط تسهیل مکان E در دوره t؛ p تعداد تسهیلات؛ $F_{taa'}$ هزینه جابه‌جایی آمبولانس از سایت a به سایت a′ از دوره t-1 به دوره t؛ $F_{thh'}$ هزینه جابه‌جایی بالگرد از سایت h به سایت h' از دوره t-1 به دوره t؛ P_{Et} احتمال مشغول بودن تسهیل در دوره t.

3-1-3- متغیرها

y_{Et} زمانی برابر یک است که تسهیلی در مکان E در دوره t قرار گیرد، X_{iEt} اگر مشتری i به تسهیل واقع در مکان E در دوره t تخصیص داده شود، برابر یک است. $X'_{iEE'tl}$ اگر مشتری i به تسهیل واقع در مکان E با سطح سرویس l توسط تسهیل واسطی واقع در مکان E' در دوره t تخصیص داده شود، برابر یک است.

متغیرهای دودویی کمکی خطی ساز: $g_{taa'}$ برابر با $y_{at} \times y_{a(t-1)}$ است، $g_{thh'}$ برابر با $y_{ht} \times y_{h(t-1)}$ است، g'_{iabt} برابر با $x_{iat} \times x'_{\text{iabt}}$ است، g'_{ihbt} برابر با $x_{iht} \times x'_{\text{ihbt}}$ است، g'_{iadt} برابر با $x_{idt} \times x'_{\text{iadt}}$ است، g'_{ihdt} برابر با $x_{idt} \times x'_{\text{ihdt}}$ است، g'_{iart} برابر با $x_{irt} \times x'_{\text{iart}}$ است، g'_{ihrt} برابر با $x_{irt} \times x'_{\text{ihrt}}$ است، S_{iabtl} برابر با $y_{at} \times y_{bl3}$ است، S_{iadtl2} برابر با $y_{at} \times y_{dl2}$ است، S_{iartl4} برابر با $y_{at} \times y_{dl4}$ است، S_{ihbtl3} برابر با $y_{ht} \times y_{bl3}$ است، S_{ihdtl2} برابر با $y_{ht} \times y_{dl2}$ است، S_{ihrtl4} برابر با $y_{ht} \times y_{rl4}$ است. t یک عدد فازی است که بیشترین انحراف محدودیت iام را نشان می‌دهد.

3-2- نحوه فازی کردن پارامترها

به دلیل فازی بودن مقدار تقاضا در تابع هدف و محدودیت‌ها از روش [14، ص1016-1022] استفاده شده که در آن، مدل کلی برای برنامه‌ریزی خطی فازی شامل ضرایب هدف فازی، ضرایب فنّاوری فازی و ضرایب سمت راست فازی در محدودیت‌ها به شکل رابطه (1) است که عنصر فازی شامل $\exists\ \mu_j \epsilon f(R)$ که $\mu_j \rightarrow [0,1], j \in N$ بوده، هزینه فازی تعریف شده و مطابق (2) است.

$$\max\ Z = \sum_{j=1}^{n} c_j x_j \qquad (1)$$
$$s.t: \sum_{j=1}^{n} a_{ij} x_j \le b_i$$
$$x_j \ge 0 \qquad i \in M \qquad j \in N$$

$$\max\ Z = \sum_{j=1}^{n} (c_j + \frac{d_{cj} - d'_{cj}}{3}) x_j$$
$$s.t: \sum_{j=1}^{n} (a_{ij} + \frac{d_{aij} - d'_{aij}}{3}) x_j \le (b_i + \frac{d_{bi} - d'_{bi}}{3}) + (t_i + \frac{d_{ti} - d'_{ti}}{3})(1-\alpha) \qquad (2)$$
$$x_j \ge 0 \qquad i \in M \qquad j \in N \qquad \alpha \in [0,1]$$

برای حل رابطه (2)، روش‌های رتبه‌بندی اعداد فازی متفاوت را می‌توان برای تابع هدف و محدودیت‌ها، می‌توان از برای فازی کردن روش‌های رتبه‌بندی در محدودیت‌ها و روش آلفا-برش در تابع هدف استفاده کرد. در این مقاله برای اثرات تصویر روش شاخص اول از [15، ص1435-1437] استفاده کرده‌ایم.

$$\max\ Z = \sum_{j=1}^{n} (c_j + \frac{d_{cj} - d'_{cj}}{3}) x_j$$
$$s.t: \sum_{j=1}^{n} (a_{ij} + \frac{d_{aij} - d'_{aij}}{3}) x_j \le (b_i + \frac{d_{bi} - d'_{bi}}{3}) + (t_i + \frac{d_{ti} - d'_{ti}}{3})(1-\alpha) \qquad (3)$$
$$x_j \ge 0 \qquad i \in M \qquad j \in N \qquad \alpha \in [0,1]$$

با استفاده از شاخص اول یاگر و با در نظر گرفتن اعداد فازی مثلثی، مسئله بالا به شکل مسئله برنامه‌ریزی خطی معادل آن تبدیل می‌شود. دو دلیل برای استفاده از عدد فازی مثلثی به‌جای ذوزنقه‌ای و زنگوله‌ای و... وجود دارد. دلیل اول این است که یک تابع عضویت مثلثی را می‌توان به‌عنوان شکل خاصی از یک تابع عضویت ذوزنقه‌ای در نظر گرفت و دلیل دوم، سادگی در محاسبه خروجی یک سیستم فازی است.

3-3- مدل ریاضی

مدل پیشنهادی به‌صورت زیر است:

$$Maximize : (\sum_{i\in I}\sum_{a\in A}\sum_{t\in T}\sum_{j=1}^{M}(1-p_{at})p_{at}^{\,j-1}(d_{iat}+\frac{d\,d_{iat}-d'\,d_{iat}}{3})X_{iat} +$$

$$\sum_{i\in I}\sum_{h\in H}\sum_{t\in T}\sum_{j=1}^{M}(1-p_{ht})p_{ht}^{\,j-1}(d_{iht}+\frac{d\,d_{iht}-d'\,d_{iht}}{3})X_{iht} +$$

$$\sum_{b\in B}\sum_{i\in I}\sum_{l\in L3}\sum_{t\in T}\sum_{j=1}^{M}\alpha_{l3}*(1-p_{bt})p_{bt}^{\,j-1}(d_{ibtl}+\frac{d\,d_{ibtl}-d'\,d_{ibtl}}{3})X_{ibtl} +$$

$$\sum_{r\in R}\sum_{i\in I}\sum_{l\in L4}\sum_{t\in T}\sum_{j=1}^{M}\alpha_{l4}*(1-p_{rt})p_{rt}^{\,j-1}(d_{irtl}+\frac{d\,d_{irtl}-d'\,d_{irtl}}{3})X_{irtl} +$$

$$\sum_{r\in R}\sum_{i\in I}\sum_{l\in L4}\sum_{t\in T}\sum_{j=1}\sum_{a\in A}^{M}\alpha_{l4}*(1-p_{rat})p_{rat}^{\,j-1}(d''_{iartl}+\frac{d\,diartl-d'\,diartl}{3})X'_{iartl} +$$

$$\sum_{r\in R}\sum_{i\in I}\sum_{l\in L4}\sum_{t\in T}\sum_{j=1}\sum_{h\in H}^{M}\alpha_{l4}*(1-p_{rht})p_{rht}^{\,j-1}(d''_{ihrtl}+\frac{d\,dihrtl-d'\,dihrtl}{3})X'_{ihrtl} +$$

$$\sum_{b\in B}\sum_{i\in I}\sum_{l\in L3}\sum_{t\in T}\sum_{j=1}\sum_{a\in A}^{M}\alpha_{l3}*(1-p_{bat})p_{bat}^{\,j-1}(d''_{iabtl}+\frac{d\,diabtl-d'\,diabtl}{3})X'_{iabtl} +$$

$$\sum_{b\in B}\sum_{i\in I}\sum_{l\in L3}\sum_{t\in T}\sum_{j=1}\sum_{h\in H}^{M}\alpha_{l3}*(1-p_{bht})p_{bht}^{\,j-1}(d''_{ihbtl}+\frac{d\,dihbtl-d'\,diartl}{3})X'_{ibhtl} +$$

$$\sum_{d\in D}\sum_{i\in I}\sum_{l\in L2}\sum_{t\in T}\sum_{j=1}\sum_{a\in A}^{M}\alpha_{l2}*(1-p_{dat})p_{dat}^{\,j-1}(d''_{iadtl}+\frac{d\,diadtl-d'\,diadtl}{3})X'_{iadtl} + \quad (4)$$

$$\sum_{d\in D}\sum_{i\in I}\sum_{l\in L}\sum_{t\in T}\sum_{j=1}\sum_{h\in H}^{M}\alpha_{l2}*(1-p_{dht})p_{dht}^{\,j-1}(d''_{ihdtl}+\frac{d\,dihdtl-d'\,dihdtl}{3})X'_{idhtl} +$$

$$\sum_{d\in D}\sum_{i\in I}\sum_{l\in L}\sum_{t\in T}\sum_{j=1}^{M}\alpha_{l2}*(1-p_{dt})p_{dt}^{\,j-1}(d_{idtl}+\frac{d\,d_{idtl}-d'\,d_{idtl}}{3})X_{idtl} -$$

$$(\sum_{t\in T}\sum_{a\in A}\sum_{a'\in A'}F^{t}_{aa'k}y_{a}^{t-1}y_{a'}^{t} + \sum_{t\in T}\sum_{h\in H}\sum_{h'\in H}F^{t}_{hh'n}y_{h}^{t-1}y_{h'}^{t})$$

$$\forall\, a\in A,\ b\in B,\ h\in H,\ t\in T,\ l\in L,\ d\in D, r\in R$$

$$s.t: \sum_{a\in A} y_a^t \le P_1^t \qquad \forall\ t \in T \tag{5}$$

$$\sum_{h\in H} y_h^t \le P_2^t \qquad \forall\ t \in T \tag{6}$$

$$\sum_{b\in B} y_b^{l3} \le P_3 \qquad \forall\ t \in T \tag{7}$$

$$\sum_{r\in r} y_r^{l4} \le P_4 \qquad \forall\ t \in T \tag{8}$$

$$\sum_{d\in D} y_d^{l2} \le P_5 \qquad \forall\ t \in T \tag{9}$$

$$\sum_{i\in I}(d_{iat} + \frac{d\, d_{iat} - d'\, d_{iat}}{3})X_{iat} - (t_1 + \frac{d\, t_1 - d'\, t_1}{3})(1-\alpha) \le M_1 y_a^t \tag{10}$$
$$\forall a \in A,\ t \in T$$

$$\sum_{i\in I}(d_{iht} + \frac{d\, d_{iht} - d'\, d_{iht}}{3})X_{iht} - (t_2 + \frac{d\, t_2 - d'\, t_2}{3})(1-\alpha) \le M_2 y_a^t \tag{11}$$
$$\forall h \in H,\ t \in T$$

$$\sum_{l=1}^{2}\sum_{t\in T}(d_{ibtl} + \frac{d\, d_{ibtl} - d'\, d_{ibtl}}{3})X_{ibtl3} + \sum_{l=1}^{3}\sum_{t\in T}(d_{ibtl} + \frac{d\, d_{ibtl} - d'\, d_{ibtl}}{3}) + g'_{iabtl}(d''_{iabtl} + \frac{d\, d_{iabtl} - d'\, d_{iabtl}}{3})$$
$$+ \sum_{l=1}^{3}\sum_{t\in T}(d_{ibtl} + \frac{d\, d_{ibtl} - d'\, d_{ibtl}}{3})\, g'_{ihbtl}(d''_{ihbtl} + \frac{d\, d_{ihbtl} - d'\, d_{iarl}}{3}) - (t_3 + \frac{d\, t_3 - d'\, t_3}{3})(1-\alpha) \le M_3 y_b^{l3} \tag{12}$$
$$\forall\ a \in A,\quad b \in B,\quad h \in H,\quad t \in T,\ l \in L$$

$$\sum_{l=1}^{4}(d_{irtl}+\frac{d\,d_{irtl}\;\bar{}\;d'_{irtl}}{3})X_{irtl}+\sum_{l=1}^{4}(d_{irtl}+\frac{d\,d_{irtl}\;\bar{}\;d'_{irtl}}{3})\,g'_{iartl}+(d''_{iartl}+\frac{d\,diartl\;\bar{}\;d'\,diartl}{3})$$
$$+(d_{irtl}+\frac{d\,d_{irtl}\;\bar{}\;d'_{irtl}}{3})g'_{ihrtl}(d''_{ihrtl}+\frac{d\,dihrtl\;\bar{}\;d'\,dihrtl}{3})-(t_4+\frac{d\,t_4\;\bar{}\;d'\,t_4}{3})(1-\alpha)\le M_4 y_r^l \quad (13)$$
$$\forall a\in A,\quad r\in R,\quad h\in H,\quad t\in T,\ l\in L$$

$$\sum_{l=1}^{2}(d_{idtl}+\frac{d\,d_{idtl}\;\bar{}\;d'_{idtl}}{3})X_{idtl}+\sum_{l=1}^{2}(d_{idtl}+\frac{d\,d_{idtl}\;\bar{}\;d'_{idtl}}{3})+g'_{iadtl}(d''_{iadtl}+\frac{d\,diadtl\;\bar{}\;d'\,diadtl}{3})$$
$$+\sum_{l=1}^{2}(d_{idtl}+\frac{d\,d_{idtl}\;\bar{}\;d'_{idtl}}{3})g'_{ihdtl}(d''_{ihdtl}+\frac{d\,dihdtl\;\bar{}\;d'\,dihdtl}{3})-(t_5+\frac{d\,t_5\;\bar{}\;d'\,t_5}{3})(1-\alpha)\le M_5 y_d^l \quad (14)$$
$$\forall a\in A,\quad d\in D,\quad h\in H,\quad t\in T$$

$$X_{iat}\le y_a^t \qquad \forall\ a\in A,\quad i\in I,\quad t\in T \quad (15)$$

$$X_{iht}\le y_h^t \qquad \forall\ h\in H,\quad i\in I,\quad t\in T \quad (16)$$

$$X_{ibtl3}\le y_b^{l3} \qquad \forall\ b\in B,\quad i\in I,\quad t\in T\quad l\in L3 \quad (17)$$

$$X_{irtl4}\le y_r^{l4} \qquad \forall r\in R,\quad i\in I,\quad t\in T\quad l\in L4 \quad (18)$$

$$X_{idtl2}\le y_d^{l2} \qquad \forall d\in D,\quad i\in I,\quad t\in T\quad l\in L2 \quad (19)$$

$$X'_{iabtl3}\le s_{abtl3} \qquad \forall\ b\in B,\quad i\in I,\quad t\in T,\quad l\in L3,\quad a\in A \quad (20)$$

$$X'_{ihbtl3}\le s_{hbtl3} \qquad \forall\ b\in B,\quad i\in I,\quad t\in T,\quad l\in L3,\quad h\in H \quad (21)$$

$$X'_{iartl4}\le s_{artl4} \qquad \forall\ a\in A\ r\in R,\quad i\in I,\quad t\in T\ ,l4\in L \quad (22)$$

$$X'_{ihrtl4} \le s_{hrtl4} \qquad \forall\ h \in H\ \ r \in R,\ \ i \in I,\ \ t \in T\ \ , l4 \in L \tag{23}$$

$$X'_{iadtl2} \le s_{adtl2} \qquad \forall\ a \in A\ \ d \in D,\ \ i \in I,\ \ t \in T\ \ , l2 \in L \tag{24}$$

$$X'_{ihdtl2} \le s_{hdtl2} \qquad \forall\ h \in H\ \ d \in D,\ \ i \in I,\ \ t \in T\ ,\ l2 \in L \tag{25}$$

$$\begin{aligned} &\sum_{a} X_{iat} + \sum_{h} X_{iht} + \sum_{l3\,b} X_{ibtl3} + \sum_{l2\,d} X_{idtl2} + \sum_{l4\,r} X_{irtl4} + \sum_{l3\,a\,b} X'_{iabtl3} \\ &+ \sum_{l3\,h\,b} X'_{ihbtl3} + \sum_{l2\,a\,d} X'_{iadtl2} + \sum_{l2\,h\,d} X'_{ihdtl2} + \sum_{l2\,a\,d} X'_{iadtl2} \\ &+ \sum_{l4\,a\,r} X'_{iartl4} + \sum_{l4\,h\,r} X'_{ihrtl4} \le 1 \qquad \forall a \in A, b \in B, h \in H, t \in T, l \in L, d \in D, r \in R \end{aligned} \tag{26}$$

$$X_{iat} \le z_{iat} * y_a^t \qquad \forall\ a \in A,\quad i \in I,\quad t \in T \tag{27}$$

$$X_{iht} \le z_{iht} * y_h^t \qquad \forall\ h \in H,\quad i \in I,\quad t \in T \tag{28}$$

$$X_{ibtl3} \le z_{ibtl3} * y_b^{l3} \qquad \forall\ b \in B,\quad i \in I,\quad t \in T\ \ , l \in L3 \tag{29}$$

$$X_{idtl2} \le z_{idtl2} * y_d^{l2} \qquad \forall\ d \in D,\quad i \in I,\quad t \in T\ \ , l \in L2 \tag{30}$$

$$X_{irtl4} \le z_{irtl4} * y_r^{l4} \qquad \forall\ r \in R,\quad i \in I,\quad t \in T\ \ , l \in L4 \tag{31}$$

$$X'_{iabtl3} \le z_{iat} * z_{ibtl3} * s_{abtl3} \qquad \forall\ b \in B,\ i \in I,\ t \in T,\ l \in L3,\ a \in A \tag{32}$$

$$X'_{ihbtl3} \le z_{iht} * z_{ibtl3} * s_{hbtl3} \qquad \forall\ b \in B,\ i \in I,\ t \in T,\ l \in L3,\ h \in H \tag{33}$$

$$X'_{iadtl2} \le z_{iat} * z_{idtl2} * s_{adtl2} \qquad \forall d \in D, i \in I, t \in T, l \in L2, a \in A \qquad (34)$$

$$X'_{ihdtl2} \le z_{iht} * z_{idtl2} * s_{hdtl2} \qquad \forall d \in D, i \in I, t \in T, l \in L2, h \in H \qquad (35)$$

$$X'_{iartl4} \le z_{iat} * z_{irtl4} * s_{artl4} \qquad \forall r \in R, i \in I, t \in T, l \in L4, a \in A \qquad (36)$$

$$X'_{ihrtl4} \le z_{iht} * z_{irtl4} * s_{hrtl4} \qquad \forall r \in R, i \in I, t \in T, l \in L4, h \in H \qquad (37)$$

$$2 * g_{aa't} \le y_a^{t-1} + y_{a'}^{t} \qquad \forall a, a' \in A, t \in T \qquad (38)$$

$$g_{aa't} + 1 \ge y_a^{t-1} + y_{a'}^{t} \qquad \forall a, a' \in A, t \in T \qquad (39)$$

$$2 * g_{hh't} \le y_h^{t-1} + y_{h'}^{t} \qquad \forall h, h' \in H, t \in T \qquad (40)$$

$$g_{hh't} + 1 \ge y_h^{t-1} + y_{h'}^{t} \qquad \forall h, h' \in H, t \in T \qquad (41)$$

$$2 * S_{abtl3} \le y_a^{t} + y_b^{l3} \qquad \forall a \in A, t \in T, l \in L3, b \in B \qquad (42)$$

$$S_{abtl3} + 1 \ge y_a^{t} + y_b^{l3} \qquad \forall a \in A, t \in T, l \in L3, b \in B \qquad (43)$$

$$2 * S_{hbtl3} \le y_h^{t} + y_b^{l3} \qquad \forall h \in H, t \in T, l \in L3, b \in B \qquad (44)$$

$$S_{hbtl3} + 1 \ge y_h^{t} + y_b^{l3} \qquad \forall h \in H, t \in T, l \in L3, b \in B \qquad (45)$$

$$2 * S_{adtl2} \leq y_a^t + y^{l2}_d \qquad \forall a \in A,\ t \in T,\ l \in L2, d \in D \qquad (46)$$

$$2 * S_{hdtl2} \leq y_h^t + y^{l2}_d \qquad \forall h \in H,\ t \in T, l \in L2, d \in D \qquad (47)$$

$$S_{hdtl2} + 1 \geq y_h^t + y^{l2}_d \qquad \forall h \in H,\ t \in T,\ l \in L2,\ d \in D \qquad (48)$$

$$2 * S_{artl4} \leq y_a^t + y^{l4}_r \qquad \forall a \in A,\ t \in T,\ l \in L4,\ r \in R \qquad (49)$$

$$S_{artl} + 1 \geq y_a^t + y^{l4}_r \qquad \forall a \in A,\ t \in T,\ l \in L4,\ r \in R \qquad (50)$$

$$2 * S_{hrtl} \leq y_h^t + y^{l4}_r \qquad \forall h \in H,\ t \in T,\ l \in L4,\ r \in R \qquad (51)$$

$$S_{hrtt} + 1 \geq y_h^t + y_r^{l4} \qquad \forall h \in H,\ t \in T,\ l \in L4,\ r \in R \qquad (52)$$

$$2 * g'_{iabt} \leq x_{iat} + x'_{iabt} \qquad \forall a \in A,\ t \in T,\ i \in I,\ b \in B \qquad (53)$$

$$g'_{iabt} + 1 \geq x_{iat} + x'_{iabt} \qquad \forall a \in A,\ t \in T,\ i \in I,\ b \in B \qquad (54)$$

$$2 * g'_{ihbt} \leq x_{iht} + x'_{ihbt} \qquad \forall h \in H,\ t \in T,\ i \in I,\ b \in B \qquad (55)$$

$$g'_{ihbt} + 1 \geq x_{iht} + x'_{ihbt} \qquad \forall h \in H,\ t \in T,\ i \in I,\ b \in B \qquad (56)$$

$$2 * g'_{iadt} \leq x_{iat} + x'_{iadt} \qquad \forall a \in A,\ t \in T,\ i \in I,\ d \in D \qquad (57)$$

$$g'_{iadt} + 1 \geq x_{iat} + x'_{iadt} \qquad \forall a \in A,\ t \in T,\ i \in I,\ d \in D \qquad (58)$$

$$2 * g'_{ihdt} \leq x_{iht} + x'_{ihdt} \qquad \forall h \in H,\ t \in T,\ i \in I,\ d \in D \quad (59)$$

$$g'_{ihdt} + 1 \geq x_{iht} + x'_{ihdt} \qquad \forall h \in H,\ t \in T,\ i \in I,\ d \in D \quad (60)$$

$$2 * g'_{iart} \leq x_{iat} + x'_{iart} \qquad \forall a \in A,\ t \in T,\ i \in I,\ r \in R \quad (61)$$

$$g'_{iart} + 1 \geq x_{iat} + x'_{iart} \qquad \forall a \in A,\ t \in T,\ i \in I,\ r \in R \quad (62)$$

$$2 * g'_{ihrt} \leq x_{iht} + x'_{ihrt} \qquad \forall h \in H,\ t \in T,\ i \in I,\ r \in R \quad (63)$$

$$g'_{ihrt} + 1 \geq x_{iht} + x'_{ihrt} \qquad \forall h \in H,\ t \in T,\ i \in I,\ r \in R \quad (64)$$

$$g_{hh't},\ g_{aa't},\ S_{abtl},\ S_{hbtl},\ S_{adtl},\ S_{hdtl},\ S_{artl},\ S_{hrtl},$$
$$g'_{ihrt},\ g'_{iart},\ g'_{ihdt},\ g'_{iadt},\ g'_{ihbt},\ g'_{iabt} \in \{0,\ 1\} \quad (65)$$
$$\forall a, a' \in A,\ h, h' \in H,\ t \in T,\ i \in I,\ d \in D,\ r \in R,\ l \in L$$

با توجه به توضیحات قسمت فازی که به‌طور کامل نحوه فازی کردن پارامترها در آن توضیح داده شد، در این پژوهش دو پارامتر مقدار تقاضا و شعاع پوشش به‌صورت فازی در نظر گرفته شده که متناسب با هدف انجام پژوهش به دنبال حداکثر کردن پوشش مشتریان است. با توجه به این‌که از تسهیلات واسطه مانند بالگرد امداد و آمبولانس استفاده شده و مکان آن‌ها در دوره‌های مختلف متناسب با میزان تقاضا و شعاع پوشش تغییر می‌کند، برای کارایی بیشتر مدل پیشنهادی هزینه جابجایی در دوره‌های مختلف برای تسهیلات واسطه در نظرگرفته شده است. همچنین ازآنجایی‌که تابع هدف از نوع بیشینه است، با منفی قرار دادن ضریب هزینه، تابع هدف به دنبال بیشینه‌کردن پوشش مشتریان و کاهش هزینه جابجایی این تسهیلات است؛ پس تابع هدف مدل از دو بخش حداکثر کردن پوشش مشتریان

با سطح خدمت متفاوت در زمان‌های مختلف با تسهیلات متفاوت و کم کردن هزینه جابجایی آمبولانس‌ها و بالگرد امداد در صورت فازی بودن مقدار تقاضا تشکیل شده است. محدودیت تعداد تسهیلات در روابط (5) تا (9) بیان شده است. به‌عبارت‌دیگر، این روابط نشان دهنده تعداد تسهیلات است؛ البته تعداد تسهیلات واسطه در دوره‌های مختلف متفاوت است، ولی تعداد بیمارستان‌ها و کلینیک‌ها ثابت هستند. محدودیت ظرفیت تسهیلات در روابط (10) تا (14) نشان داده شده است؛ یعنی باتوجه به واقعیت موجود که ظرفیت تسهیلات محدود است، به منظور انطباق بیشتر برای تسهیلات، ظرفیت در نظر گرفته شده است. محدودیت‌های (15) تا (25) این موضوع را مشخص می‌سازد که زمانی یک نقطه تقاضا به یک نقطه بالقوه تخصیص داده می‌شود که در آن نقطه تسهیلی ایجاد شده باشد. به‌عبارت‌دیگر، در صورت وجود تسهیل در یک نقطه تقاضای آن نقطه برآورده می‌شود؛ در غیر این صورت، تقاضای آن نقطه بدون پوشش باقی می‌ماند. محدودیت (26) نشان می‌دهد هر نقطه تقاضا حداکثر به یک تسهیل تخصیص داده می‌شود. محدودیت (27) تا (37) نشان می‌دهند که زمانی نقطه‌ای توسط تسهیلی پوشش داده‌شده در نظر گرفته می‌شود که در شعاع پوشش آن تسهیل قرار گرفته باشد؛ یعنی با توجه به وجود شعاع پوشش توسط هر تسهیل، زمانی تقاضایی توسط تسهیلی پاسخ داده می‌شود که در شعاع پوشش تسهیل قرار داشته باشد. در غیر این صورت، آن نقطه تقاضا بدون پوشش باقی می‌ماند. محدودیت (38) تا (64) محدودیت‌های خطی ساز هستند. با توجه به غیرخطی بودن متغیرها، برای فازی کردن و نیز حل با استفاده از نرم‌افزار گمز نیاز به خطی کردن متغیرها وجود داشت؛ بنابراین با استفاده از محدودیت‌های خطی ساز آن‌ها به محدودیت‌های خطی تبدیل شده‌اند و محدودیت (65) متغیرهای دودویی را مشخص می‌کند.

4- الگوریتم‌های پیشنهادی

4-1- شیوه تولید جواب اولیه

تعداد نقاط بالقوه برای ایجاد تسهیلات از نوع آمبولانس در هر دوره برابر a بوده و همچنین تعداد نقاط بالقوه برای ایجاد تسهیلات از نوع بالگرد برابر h است. تعداد نقاط بالقوه برای ایجاد تسهیلات از نوع بیمارستان در هر دوره برابرb، تعداد نقاط بالقوه

برای ایجاد تسهیلات از نوع بیمارستان فوق تخصصی در هر دوره برابر r و نیز تعداد نقاط بالقوه برای ایجاد تسهیلات از نوع کلینیک در هر دوره برابر d است. طبق رابطه (66)، برای مکان‌یابی همه تسهیلات اعداد ماتریس مربوطه را به‌صورت نزولی مرتب کرده و متناسب با تعداد تسهیلات موجود مکان‌یابی را انجام داده‌ایم. برای $d=2$، $r=1$، $b=2$، $h=2$ و $a=3$ مکان‌یابی تسهیلات به‌صورت ماتریس رابطه (67) به دست آمده است.

$$\left[\begin{array}{ccccc:ccc:ccc:ccc:cccc} \overbrace{\text{Ambulance}}^{a} & & & & & \overbrace{\text{Helikopter}}^{h} & & & \overbrace{\text{Hospital}}^{b} & & & \overbrace{\text{Hi-Hospital}}^{r} & & & \overbrace{\text{Kilinik}}^{d} & & & \\ 1 & 0.9 & 0.88 & 0.21 & 0.33 & 0.42 & 0.82 & 0.32 & 0.09 & 0.23 & 0.58 & 0.09 & 0.23 & 0.58 & 0.91 & 0.23 & 0.65 & 0.78 \end{array}\right] \quad (66)$$

$$\left[\begin{array}{ccccc:ccc:ccc:ccc:cccc} \overbrace{\text{Ambulance}}^{a} & & & & & \overbrace{\text{Helikopter}}^{h} & & & \overbrace{\text{Hospital}}^{b} & & & \overbrace{\text{Hi-Hospital}}^{r} & & & \overbrace{\text{Kilinik}}^{d} & & & \\ 0 & 1 & 1 & 0 & 1 & 1 & 1 & 0 & 0 & 1 & 1 & 0 & 0 & 1 & 1 & 0 & 0 & 1 \end{array}\right] \quad (67)$$

4-2- الگوریتم رقابت استعماری

4-2-1- شکل‌دهی امپراتوری اولیه

در اینجا به تشکیل یک آرایه (که در اینجا آرایه را یک کشور می‌نامیم) می‌پردازیم.

$$\text{Country} = [p_1, p_2, \dots, p_{Nvar}] \quad (68)$$

هرکدام از این متغیرها ($p_1, p_2, \dots$) بسته به بافت فرهنگی و اجتماعی یک کشور می‌تواند عناصری مانند زبان، مذهب، سیاست‌های اقتصادی باشد. برای شروع کار، ما ابتدا یک سری کشور $N_{Country}$ تعریف می‌کنیم و آن را از میان تعدادی از بهترین‌ها به‌عنوان امپریالیسم N_{imp} که دارای کمترین میزان تابع هزینه نیز هستند، انتخاب می‌کنیم. هرچه که در این میان باقی می‌ماند به‌عنوان مستعمره در نظر گرفته می‌شود که با N_{Col} نشان داده می‌شود. سپس با توجه به قدرت هرکدام از امپریالیسم‌ها

کشورهایی به آن‌ها تخصیص داده می‌شود. هزینه یک کشور از موارد بسیار مهم در این الگوریتم است که از تابع (69) برای آن استفاده می‌شود:

$$\text{cost}_i = f(\text{country}_i) = f(p_1, p_2, p_3, \dots, p_{N_{var}}) \quad (69)$$

همان‌طور که گفته شد، به منظور تخصیص کشورهای باقیمانده به کشورهای امپریالیسم، بایستی با توجه به میزان قدرت کشورها، هزینه نرمال شده هر یک بصورت زیر محاسبه گردد.

$$C_n = \max_i\{c_i\} - c_n \quad (70)$$

که در اینجا، C_n هزینه نرمالیزه امپریالیسم nام و $\max_i\{c_i\}$ بیشترین هزینه میان امپریالیست‌ها است. هرچه هزینه‌های یک امپریالیسم بیشتر باشد، یعنی ضعیف‌تر باشد، هزینه نرمالیزه کمتر خواهد بود؛ بنابراین، قدرت امپریالیسم جهت تخصیص کشورهای مستعمره از فرمول (71) به دست می‌آید:

$$p_n = \left| c_n / \sum_{i=1}^{N_{imp}} c_i \right| \quad (71)$$

4-2-2- سیاست جذب[1]، حرکت کشور مستعمره به سمت استعمارگر

کشورهای استعمارگر برای نفوذ بیشتر در کشورهای مستعمره روش‌های بسیار برگزیدند. در راستای این سیاست، کشور مستعمره[2]، به‌اندازه x واحد در جهت خط واصل مستعمره به استعمارگر[3]، حرکت کرده و به موقعیت جدید[4]، کشانده می‌شود. X عددی تصادفی با توزیع یکنواخت (یا هر توزیع مناسب دیگر) است. اگر فاصله میان استعمارگر و مستعمره با d نشان داده شود، معمولاً برای d داریم:

1. Assimilation
2. Colony
3. Imperialist
4. New Position Of Colony

$$X \in \mathrm{U}(0\ ,\ \beta \times \mathrm{d}) \tag{72}$$

که در آن β عددی بزرگ‌تر از یک و نزدیک به 2 است. یک انتخاب مناسب می‌تواند $\beta = 2$ باشد. وجود ضریب $\beta \geq 1$ باعث می‌شود تا کشور مستعمره در حین حرکت به سمت کشور استعمارگر، از جهت‌های مختلف به آن نزدیک شود. البته این حقیقت تاریخی در سیاست جذب وجود داشته که همیشه این روند مطابق میل کشورهای امپریالیسم نبوده و درصدی زاویه انحراف نیز وجود داشته است؛ بنابراین، زاویه انحراف نیز مطابق شکل زیر در نظر گرفته می‌شود. Θ نیز مانند x کاملاً تصادفی انتخاب می‌شود که معمولاً Θ بازه $[-\lambda, \lambda]$ را شامل می‌شود. λ در پیاده‌سازی زاویه‌ای نزدیک به 45 درجه را در نظر می‌گیرد.

4-2-3- انقلاب[1]

ازآنجایی‌که این الگوریتم از پدیده استعمار در تاریخ بشر الهام گرفته شده، در برخی موارد با سر زدن به حادثه‌های تاریخی بسیار کمک‌کننده خواهد بود. در این الگوریتم، انقلاب با جابجا کردن کشور مستعمره به یک موقعیت تصادفی جدید مدل‌سازی می‌شود. درواقع، انقلاب باعث می‌شود که کشور مستعمره از باقی ماندن در دره محلی بهینه درآید. در بعضی موارد، این حرکت به سمت یک دره بهینه بهتر خواهد بود.

4-2-4- جابجایی قدرت بین استعمارگر و مستعمره

خوشبختانه بر اثر اعمال برخی سیاست‌ها کشورهای استعمارگر، کشورهای مستعمره به‌نوعی خودباوری رسیدند. در اینجا در حرکت مستعمره به سمت استعمارگر، گاهی پیش می‌آید که کشور مستعمره به موقعیت برتری نسبت به استعمارگر خود برسد. یعنی هزینه کمتری نسبت به استعمارگر خود خواهد داشت. حالا کشور استعمارگر جدید شروع به اعمال سیاست‌های جذب نسبت به مستعمره‌های خود می‌کند.

---

1. Revolution

4-2-5- رقابت استعماری

رقابت استعماری، درواقع همان رقابتی است که کشورهای امپریالیسم برای به دست آوردن نفوذ بیشتر و همچنین قدرت بیشتر در جهت بقای سلطنت خود انجام می‌دهند. قدرت یک امپراتوری به‌صورت قدرت کشور استعمارگر، به اضافه درصدی از کل قدرت آن تعریف می‌شود. فرمول(73)، قدرت کشور استعمارگر به اضافه درصدی از قدرت کل مستعمرات آن برابر با هزینه کل امپراتوری nام است.

$$T.C_n = \text{Cost}\left(\text{imperialist}_n\right) + \xi \text{Mean}\{\text{cost}(\text{colonies of empire}_n)\} \qquad (73)$$

در اینجا، $T.C._n$ هزینه کل امپراتوری n ام، ξ یک عدد مثبت بین صفر و یک است و نزدیک به صفر است. معمولاً در پیاده‌سازی‌ها $\xi = 0.05$ جواب مطلوب دریافت شده است. کشورهای استعمارگر که قدرت خود را از دست می‌دهند، به‌تدریج مستعمره‌های خود را از دست داده، و کشورهای استعمارگر قدرت دیگر آن کشورهای مستعمره ضعیف شده را زیر نفوذ خود می‌گیرند. ادامه این روند باعث سقوط امپراتوری ضعیف شده، خواهد شد. فرمول (74) رابطه بین $T.C._n$ و $N.T.C_n$ است.

$$N.T.C._n = \max_i \{T.C._i\} - T.C._n \qquad (74)$$

$N.T.C_n$ هزینه نرمالیزه شدن آن امپراتوری است. در این رابطه هر چه $T.C_n$ کمتر باشد، $N.T.C_n$ بیشتری خواهیم داشت. با این حساب قدرت تصاحب مستعمره رقابت، توسط هر امپراتوری، به‌صورت زیر مصاحبه می‌شود:

$$P_{p_n} = \left| \frac{N.T.C_n}{\sum_{i=1}^{N_{imp}} N.T.C_i} \right| \qquad (75)$$

4-2-6- پیاده‌سازی

ابتدا به ایجاد پاسخ پیشنهادی برای مکان‌یابی تسهیل پرداخته شده است. هر پاسخ، آرایه‌ای است که تعداد درایه‌های آن برابر با تعداد تسهیلات مورد درخواست برای مکان‌یابی است. مطابق با الگوریتم رقابت استعماری، هر پاسخ را یک کشور می‌نامیم. سپس به مفهوم نماینده برای حرکت یک کشور مستعمره (پاسخ ضعیف‌تر) به سمت استعمارگر متناظرش (پاسخ قوی‌تر) مطابق با رابطه (67) پرداخته شده است. تولید پاسخ جدید متناظر با مرحله حرکت مستعمره به سمت استعمارگر است. چالش اساسی در پیاده‌سازی حرکت مستعمره به سمت استعمارگر، تعریف زاویه انحراف یعنی θ و اندازه حرکت یعنی X است. برای معرفی روش تولید پاسخ جدید، دو آرایه با طول یکسان در نظر گرفته شده است؛ یکی با عنوان S_1 که یک مستعمره و S_2 استعمارگر متناظر آن. منظور از تولید پاسخ جدید، در حقیقت، حرکت S_1 به سمت S_2 و در نتیجه، تغییر مشخصات پاسخ S_1 است. نمایندگان، این دو پاسخ $Pres_{s_1}$ و $Pres_{s_2}$ نامیده شدند. تسهیل واقع‌شده در آخرین خانه $Pres_{s_1}$ با last_host و تسهیل واقع‌شده در اولین خانه $Pres_{s_2}$ با first_host نام‌گذاری می‌شود. در پاسخ، S_1 تسهیل را که برای اجرا روی last_host انتخاب شده‌اند، در نظر می‌گیریم. از این مجموعه، تسهیلات به تعداد x (پارامتر شبیه‌سازی) واحد را به‌طور تصادفی انتخاب کرده و برای اجرا به first_host منتسب می‌کنیم. این گام را به تعداد θ بار تکرار می‌کنیم. پارامترهای x و θ در واقع کنترل کننده حرکت پاسخ مستعمره به سوی استعمارگر هستند که مناسب‌ترین مقدار برای هریک از آن‌ها طی آزمایش‌های شبیه‌سازی مقدماتی تعیین می‌شود. قدرت پاسخ‌ها در هر بار تکرار الگوریتم، محاسبه شده و بر همین اساس، رقابت بین استعمارگران شکل می‌گیرد تا در نهایت با توجه به یکی از شروط پایانی، الگوریتم خاتمه یافته و جواب نهایی گزارش شود.

4-3- الگوریتم مصنوعی زنبوران

الگوریتم زنبورها متعلق به دسته‌ای از فراابتکاری‌ها به نام الگوریتم‌های مبتنی بر جمعیت هستند که از طبیعت الهام گرفته شده‌اند. ویژگی مشترک این‌گونه الگوریتم‌ها در به دست

آوردن مجموعه‌ای از جواب‌ها در هر تکرار است. عمده تفاوت بین الگوریتم مصنوعی زنبورها و دیگر الگوریتم‌های مبتنی بر جمعیت در ارتباط بین کاوشگرها بوده که در الگوریتم مصنوعی زنبوران مستقیم بوده، درصورتی‌که در سایر الگوریتم‌ها به‌صورت غیرمستقیم است. گام‌های الگوریتم مصنوعی زنبوران به این صورت است: 1- تولید پاسخ‌های تصادفی اولیه و ارزیابی آن‌ها؛ 2- حرکت زنبورهای استخدام‌شده؛ 3- ارسال زنبورهای جستجوگر؛ در این مرحله زنبورهای جستجوگر بر اساس شایستگی هر بسته غذایی به‌صورت احتمالی به آن‌ها تخصیص داده می‌شود که در واقع در اینجا منظور از شایستگی هر بسته غذایی، برازندگی مقدار تابع در آن نقطه است. با استفاده از محاسبه احتمالات، برای هر ذره با استفاده از چرخ گردان سایت‌ها را به‌طور احتمالی انتخاب (پاسخ مبدأ) کرده و پس از تولید پاسخ جدید دوباره موردمقایسه قرار داده‌ایم؛ 4- اگر سایتی وجود دارد که تعداد دفعات عدم پیشرفت آن به 1 (پارامتر حد) رسیده باشد، آن سایت را با یک پاسخ تصادفی جایگزین کرده و شمارنده مربوط به آن را برابر صفر قرار می‌دهیم؛ 5- در صورت برآورده نشدن شرایط خاتمه به مرحله 2 برمی‌گردیم و در غیر این صورت، فرآیند پایان می‌یابد.

در این الگوریتم، حرکت زنبورهای استخدام‌شده طبق رابطه (76) صورت می‌گیرد که در آن اگر v_i بهتر از x_i باشد، آنگاه $x_i=v_i$ و اگر بدتر باشد، همان x_i را نگه‌داشته و یک واحد به شمارنده ذره iام اضافه می‌شود.

$$V_i = X_i + \Phi_i (X_i - X_k) \quad k \in \{1,2,3.....npop\} \ , \Phi_i \approx U(-a \ , +a) \qquad (76)$$

بر اساس شایستگی زنبورهای جستجوگر، هر بسته غذایی به‌صورت احتمالی به آن‌ها تخصیص داده می‌شود که شایستگی هر بسته غذایی همان برازندگی مقدار تابع در آن نقطه یافت شده است. شایستگی برای هر نقطه به‌صورت رابطه (77) به دست می‌آید که در آن $f(x_i)$، مقدار تابع هزینه پاسخ x_i و $p_i = \frac{F(x_i)}{\sum_{i=1}^{npop} F(x_i)}$ است.

$$F(x_i) = \begin{cases} \frac{1}{1+f(x_i)} & f(x_i) \geq 0 \\ 1+abs(f(x_i)) & f(x_i) \leq 0 \end{cases} \qquad (77)$$

در جستجوگرها از NormFit برای تعیین منبع غذایی که می‌خواهند کار کنند، استفاده می‌شود. ماتریس NormFit برای محاسبه تناسب طبیعی یک راه‌حل استفاده می‌شود.

$$Normfit = Objemp / \sum Objemp\,O$$

bjemp نشان‌دهنده ارزش عینی هر راه‌حل متعلق به زنبورهای مشغول به کار است. بدیهی است عناصر NormFit بین [1، ۰] قرار دارند. حالا از عمل انتخاب رولت ویل(چرخه رولت) استفاده می‌شود. که در آن احتیاج به محاسبه احتمال تجمعی q_h برای هر جستجوگر داریم.

$$q_h = \sum_{i=1}^{h} NormFit_i \qquad (78)$$

سپس عدد تصادفی g در محدوده [1، 0] ایجاد می‌شود. اگر $q_{h-1} \le g \le q_h$ باشد، hامین جستجوگر انتخاب می‌شود. این روند تا زمانی که جستجوگر راه‌حل خود را پیدا کند، تکرار می‌شود. هر جستجوگر برای انتخاب یک راه‌حل این کار را می‌کند. ممکن است یک راه‌حل را چندین جستجوگر انتخاب کنند. با انجام این فرآیند انتخاب، هر جستجوگر لزوماً بهترین راه‌حل را انتخاب نمی‌کند. پس از تعیین متغیرهای محل، متغیرهای تخصیص به‌راحتی محاسبه می‌شوند. در حقیقت، اصطلاح محدوده به علت متغیرهای مکان است که با تغییرات آن‌ها، متغیرهای تخصیص به میزان بیشتری تغییر می‌کنند. یک پارامتر به نام Limit به‌عنوان یک ورودی عمل می‌کند و مانع از راه‌اندازی در چرخه‌های بیش از مقدار محدود می‌شود. برای این منظور یک متغیر با نام Bas با هر زنبور استفاده می‌شود و مقدار سن یک راه‌حل را ازلحاظ چرخه نشان می‌دهد. یعنی Bas (i) = k به این معنی است که i امین زنبور منبع تغذیه k را جستجو کرده است. اگر مقدار Bas (i) بیش از حدمجاز باشد، زنبور را رها می‌کنیم و یک راه‌حل جدید جایگزین آن می‌کنیم.

5- نتایج عددی

در این مقاله، از مدل پوشش تدریجی سلسله‌مراتبی برای بررسی صحت جواب‌های به‌دست‌آمده استفاده می‌شود [10، ص736 -749]. برای شبیه کردن دو مدل به یکدیگر، مفروضات زیر در نظر گرفته شده است: ظرفیت‌ها عدد بزرگی فرض شده است؛ سطح‌های پوشش (فاصله نقاط از یکدیگر و شعاع‌های پوشش) برای تسهیلات مختلف یکسان در نظر گرفته شده است؛ از یک نوع تسهیل در مدل پیشنهادی استفاده شده است؛ تعداد دوره‌ها برابر با یک قرار گرفته است و مدل پیشنهادی به مدل استاتیک تبدیل شده است. در جدول (2)، مقایسه بین جواب‌های به‌دست‌آمده از دو روش آورده شده است. همان‌طور که در مفروضات نیز عنوان شده بود، تفاوت در مقادیر تابع هدف‌های دو مدل به‌این‌علت است که در مدل پیشنهادی میزان پوشش بیشتری صورت می‌گیرد، دلیل این امر شعاع پوشش نیست؛ زیرا شعاع‌های پوشش برای تسهیلات یکسان است. تفاوت در جواب‌ها به علت آن است که در مدل پیشنهادی پارامترها به‌صورت فازی در نظر گرفته شده‌اند. همچنین دلیل دوم که بسیار مهم‌تر است، احتمال مشغول بودن تسهیلات در دوره‌های زمانی مختلف است که موجب برتری و دقت مدل پیشنهادی شده و به‌طور محسوسی تابع هدف و عملکرد آن را افزایش داده است.

جدول 2 مقایسه عددی مدل پیشنهادی و مدل پوشش تدریجی سلسله‌مراتبی با نرم‌افزار گمز

	مدل بشیری و همکاران							
مثال	تعداد نقاط تقاضا	مجموع تعداد تسهیلات	سطوح خدمت‌دهی	مکان آمبولانس	مکان بالگرد امداد	مکان بیمارستان	مکان بیمارستان تخصصی	تابع هدف
1	4	3	1	۱،2	2	-	-	۷.4
2		3	2	1	-	۱.4	-	13.7
3		4	3	1	1	4	2	14،۴،2
4	6	4	1	۱،2	۳.6	-	-	10.7
5		4	2	۱،2	-	۴.5	-	15.6
6		5	3	1	-	-	۳،۴،۶،3	21.3
7	9	6	1	۱،۳،۲،5	۱.8	-	-	14.2
8		7	2	۴.9	-	۹،۶،۲،۳،4	-	20.8
9		7	3	1	-	5	۱،۳،۵،۶،7	31.7
10		8	3	1	-	5	۱،۲،۳،۴،۵،7	33

ادامه جدول 2

مدل پیشنهادی									
مثال	تعداد نقاط تقاضا	مجموع تعداد تسهیلات	سطوح خدمت‌دهی	مکان آمبولانس	مکان بالگرد امداد	مکان کلینیک	مکان بیمارستان	مکان بیمارستان تخصصی	تابع هدف
1	4	3	1	۱،2	2	-	-	-	۷،4
2		3	2	1	-	3	۱،4	-	13،7
3		4	3	1	1	5	4	2	14،۴،2
4	6	4	1	۱،2	۳،6	-	-	-	10،7
5		4	2	۱،2	-	2	۴،5	-	16،15
6		5	3	1	-	۲،4	-	۳،۴،۶،3	21،3
7	9	6	1	۱،۳،۲،5	۱،8	1	-	-	15،5
8		7	2	۴،9	-	-	۹،۶،۲،۳،4	-	21،7
9		7	3	1	-	-	5	۱،۳،۵،۶،7	۸،32
10		8	3	1	-	2	5	۱،۲،۳،۴،۵،7	34

مقایسه کد شبیه‌سازی تبرید پوشش تدریجی و مدل پیشنهادی در جداول 3 و 4 آورده شده است. همانطور که ملاحظه می‌شود زمانهای اجرا (که برحسب ثانیه گزارش شده است) در مسئله پوشش تدریجی در همه مثال‌ها از روش فراابتکاری رقابت استعماری و الگوریتم مصنوعی زنبوران مدل، بیشتر است و دلیل این امر محدودیت‌ها و پیچیدگی مدل است.

همان‌طور که ملاحظه می‌شود تا مثال 20 در الگوریتم رقابت استعماری که نقاط تقاضا برابر با 75 است و تا مثال 25 در الگوریتم مصنوعی زنبوران تابع هدف که نقاط تقاضا برابر 30 است، مقدار تابع هدف یکسان است که این امر حاکی از صحت الگوریتم است. برای نزدیک کردن مدل این تحقیق به مسئله پوشش تدریجی، مفروضات زیر در نظر گرفته شده است: دوره زمانی، یک در نظر گرفته شده است. نوع تسهیلات یکسان است. هزینه جابجایی و بدون پوشش ماندن (عدم پوشش پشتیبان) صفر است. سطح خدمت‌دهی، یکسان و برابر با یک است. از تسهیلات واسطه استفاده نمی‌شود. نتایج به‌دست‌آمده از منظر زمان حل و تابع هدف در مدل پیشنهادی برتری دارد و نیز در مقایسه جواب‌ها و زمان حل دو الگوریتم ارائه‌شده برای مدل پیشنهادی، الگوریتم رقابت استعماری دارای جواب‌های بهتری است.

جدول 3 مقایسه حل مسئله پوشش تدریجی و حل الگوریتم رقابت استعماری مسئله مدل پیشنهادی

مثال	تعداد نقاط تقاضا	تعداد تسهیلات	حل مسئله پیشنهادی با استفاده از الگوریتم رقابت استعماری			حل مسئله پوشش تدریجی با استفاده از شبیه‌سازی تبرید		
			مکان قرارگیری تسهیلات	تابع هدف	زمان	مکان قرارگیری تسهیلات	تابع هدف	زمان
1	10	1	10	6/0406	3/591	10	6/0406	2/431
2		2	۱.10	8/5493	4/682	۱.10	8/5493	2/961
3		3	۱.۲.10	9/3206	4/686	۱.۲.10	9/3206	3/231
4	20	1	20	12/7725	14/60	20	12/7725	10/521
5		2	16.17	17/6867	13/54	16.17	17/6867	9/751
6		3	18.19.20	19/7037	13/55	18.19.20	19/7037	10/000
7		5	۱۵.17.18.20	20	105/883	۱۵.17.18.20	20	98/961
8	30	1	29	10/678	104/764	29	10/678	98/342
9		2	۱.24	17/455	105/333	۱.24	17/455	97/113
10		3	۱.13.24	23/256	105/883	۱.13.24	23/256	98/218
11		5	۲.10.12.13.28	25	103/591	۲.10.12.13.28	25	95/143
12	50	1	17	31/7445	205/04	17	31/7445	200/162
13		2	17.29	43/2406	202/74	17.29	43/2406	187/170
14		3	10.16.33	46/0524	205/36	10.16.33	46/0524	199/739
15		5	۵.10.12.24.45	48/8226	201/99	۵.10.12.24.45	48/8226	197/217
16	75	1	33	43/2906	744/46	29	43/2906	650/243
17		2	۹.60	60/7029	692/65	18.29	60/7029	643/523
18		3	۹.45.60	67/3876	676/49	18.30.68	67/3876	641/931
19		5	۱۵.27.71.73	72/1785	690/57	۱۵.۷.۹.17	72/1785	630/860
20		8	13.25.35.45.52.70.73	75	696/00	۱.۲.۳.۵.۶.۹.16.17	75	636/931
21	100	1	18	58/7191	4365/45	18	66/251	3950/921
22		3	18.29.78	90/6654	3505/54	18.29.78	103/457	3001/231
23		5	۱.۶.10.20.97	95/6889	2505/06	۱.45.68.77.85	104/567	1995/051
24		8	18.50.65.67.71.87.90	99/8675	1668/58	۲.۳.۴.۵.۷.45.52.57	110/352	1650/971
25		9	۵۸.20.21.65.74.87.90.98	100	1572/83	۲.۳.۴.۵.۷.11.45.57.65	123/124	1421/721

جدول 4 مقایسه حل مسئله پوشش تدریجی و حل الگوریتم مصنوعی زنبوران مسئله مدل پیشنهادی

مثال	تعداد نقاط تقاضا	تعداد تسهیلات	حل مسئله پیشنهادی با استفاده از الگوریتم مصنوعی زنبوران			حل مسئله پوشش تدریجی با استفاده از الگوریتم شبیه‌سازی تبرید		
			مکان قرارگیری تسهیلات	تابع هدف	زمان	مکان قرارگیری تسهیلات	تابع هدف	زمان
1	10	1	10	6/0406	3/591	10	6/0406	3/221
2		2	۱،10	8/5493	4/682	۱،10	8/5493	3/421
3		3	۱،۲،10	9/3206	4/686	۱،۲،10	9/3206	3/424
4	20	1	20	12/7725	14/60	20	12/7725	13/131
5		2	16،17	17/6867	13/54	16،17	17/6867	12/891
6		3	18،19،20	19/7037	13/55	18،19،20	19/7037	13/201
7		5	۱،۵،17،18،20	20	105/883	۱،۵،17،18،20	20	104/131
8	30	1	29	10/678	104/764	29	10/678	103/242
9		2	۱،24	17/455	105/333	۱،24	17/455	104/113
10		3	۱،13،24	23/256	105/883	۱،13،24	23/256	105/249
11		5	۲،10،12،13،28	25	103/591	۲،10،12،13،28	25	101/343
12	50	1	17	31/7445	205/04	17	32/971	204/972
13		2	17،29	43/2406	202/74	17،29	45/941	201/234
14		3	10،16،33	46/0524	205/36	10،16،33	47/921	204/521
15		5	۵،10،12،24،45	48/8226	201/99	۵،10،12،24،45	49/231	200/712
16	75	1	33	43/2906	744/46	29	34/984	742/123
17		2	۹،60	60/7029	692/65	18،29	61/299	690/913
18		3	۹،45،60	67/3876	676/49	18،30،68	67/341	675/321
19		5	۱،۵،27،71،73	72/1785	690/57	۱،۵،۷،۹،17	73/156	687/154
20		8	13،25،35،45،52،70،73	75	696/00	۱،۲،۳،۵،۶،۹،16،17	76/325	694/231
21	100	1	18	58/7191	4365/45	18	59/282	4362/221
22		3	18،29،78	90/6654	3505/54	18،29،78	99/490	3501/211
23		5	۱،۶،10،20،97	95/6889	2505/06	۱،45،68،77،85	96/754	2502/033
24		8	18،50،65،67،71،87،90	99/8675	1668/58	۲،۳،۴،۵،۷،45،52،57	99/999	1668/299
25		9	۵،۸،20،21،65،74،87،90،98	100	1572/83	۲،۳،۴،۵،۷،11،45،57،65	103/354	1561/333

6- نتیجه‌گیری

در مدل ارائه‌شده در این تحقیق، میزان پوشش یک نقطه تقاضا وابسته به مقدار تقاضا و تعداد تسهیلاتی که این نقطه تحت شعاع پوشش آن‌ها قرار دارد، در نظر گرفته شد. همچنین در این مدل، شعاع پوشش به‌صورت پویا و مقدار تقاضا برای مطابقت بیشتر با واقعیت به‌صورت پویا و فازی با در نظر گرفتن احتمال مشغول بودن و محدودیت ظرفیت بوده و تعداد ماشین‌های واسطه در هر دوره به‌صورت متغیر است. مدل ارائه‌شده بیشتر در مواقع اضطراری (مدیریت بحران) برای مکان‌یابی ایستگاه‌های خدمات اورژانسی و آتش‌نشانی کاربرد دارد. برای حل مدل از دو الگوریتم رقابت استعماری و الگوریتم مصنوعی زنبوران استفاده شد. نتایج حاکی از آن است که الگوریتم رقابت استعماری ارائه‌شده برای حل مدل، جواب بهتری ازلحاظ کیفیت جواب‌ها و زمان حل ارائه داده و نیز کیفیت جواب‌ها در شرایط فازی بهتر است. برای انجام پژوهش کاربردی برای کارهای آتی می‌توان موارد زیر را نام برد: در نظر گرفتن شعاع تسهیلات و تقاضا به‌صورت احتمالی در دوره‌های مختلف زمانی چراکه در مدیریت بحران تقاضا و زمان تقاضا مشخص نیست و همچنین در نظر گرفتن مسیرهای حرکت برای تسهیلات و استفاده از مسئله مکان‌یابی و مسیریابی.

7- منابع

[1] Rahman, SD, Smith, K, Use of location-allocation models in health service development planning in developing nations. European Journal of Operational Research, (2000), 123 (3), 437–452

[2] ReVelle, C.S., Eiselt, H.A., Location analysis: a synthesis and survey, European Journal of Operational Research, (2005), 165 (1), 1–19.

[3] Rahman, S., Smith, D. K., Use of location-allocation models in health service developmen planning in developing nations. European Journal of Operational Research, (2000), 123 (3), 43.

[4] Amiri, M., Taghavi fard, M.T., Aghaei, M., provide fuzzy optimization model for sustainable design of data urban wastewater collection and transfer network for agricultural use in uncertain condition, New Researchin decision making in

Iran, (2016), 1-24.

[5] Cadenas, J.M,. Verdegay, J.L., Using fuzzy numbers in linear programming, IEEE Transactions on Systems. Man and Cybernetics Part B—Cybernetics, (1997), 27, 1016–1022.

[6] Y. Garmeyi, M. Bashiri, Modeling and Solving the Dynamic Gradual Covering Location Problem, Iranian Journal of Industrial Engineering and Management, (2015), 151, 376-389.

[7] Gendreau, M., Laporte, G., Semet, F., A dynamic model and parallel tabu search heuristic for real time ambulance relocation, Parallel Computing, (2001), 27 1641-1653.7.

[8] Rajagopalan, H.K., Saydam, C., Xiao, J., A multi-period set covering location model for dynamic redeployment of ambulances, Computers & Operations Research, (2008), 35, 814–826 ,8.

[9] Schmid, V., Doerner, K.F., Ambulance location and relocation problems with time-dependent travel times, European Journal of Operational Research, (2010), 207, 1293–1303.

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

[11] Jung, M.L., Young, H.L., Tabu based heuristics for the generalized hierarchical covering location problem.Computers & Industrial Engineering, (2010), 58, 638–645.

[12] Guvenc, S., Haldun, S., A review of hierarchical facility location models. Computers & Operations Research, (2007), 34, 2310 – 2331.

[13] Baykasoglu, A, Göçken, T, A review and classification of fuzzy mathematical programs. Journal of Intelligent & Fuzzy Systems, (2008), 19, 205–229.

[14] [14]. Cadenas, J.M, Verdegay, J.L, “Using fuzzy numbers in linear programming, IEEE Transactions on Systems”, Man and Cybernetics Part B—Cybernetics, (1997), 27, 1016–1022.

[15] Yager, R, “Ranking fuzzy subsets over the unit interval, in: Proceedings of 17th IEEE International Conference on Decision and Control”, San Diego, CA, (1979), 54, 1435–1437.