حل مساله مکان یابی- مسیریابی در حالت احتمالی و با اهداف گوناگون

حسینعلی حسن پور
دانشجوی دکتری مهندسی صنایع، دانشگاه امام حسین (ع)
hahassan@ihu.ac.ir

مسعود مصدق خواه
استادیار، دانشگاه امام حسین (ع)
mmosdegh@ihu.ac.ir

واژه‌های کلیدی: مساله مکان یابی- مسیریابی، احتمالی، چند هدفی، بهینه سازی

چکیده

در این مقاله، مدلی برای مساله مکان یابی- مسیریابی در حالت احتمالی و با اهداف گوناگون، طراحی و حل می شود. در این مدل جنبه های جدیدی از مساله مکان یابی- مسیریابی مانند احتمالی بودن خدمت دهی مراکز توزیع و احتمالی بودن دسترسی به مسیرها توسعه یافته است که به مسائل دنیای واقعی نزدیک می باشند. در این تحقیق، حل مساله مکان یابی- مسیریابی به صورت یکپارچه ملاحظه شده است به طوری که ابتدا مساله مکان یابی مراکز توزیع با استفاده از رویکرد مساله پوشش مجموعه احتمالی حل می گردد و سپس با توجه به نتایج حاصل از آن، مساله مسیریابی وسیله نقلیه در حالت چند هدفی حل می شود. بهینه سازی مساله مسیریابی وسیله نقلیه در حالت چند هدفی به گونه ای عمل می کند که ضمن کمینه سازی هزینه حمل و نقل، تحویل اقلام در مسیرهایی صورت گیرد که احتمال دسترسی به آن ها بیشتر است.

۱- مقدمه

مساله مکان یابی- مسیریابی[۱] (LRP) به منظور پیدا کردن مکان و تعداد مناسب مراکز توزیع همزمان با مسیرهای توزیع و برنامه زمانی وسایل نقلیه، تعریف شده است. به طور آشکار LRP، هم مرتبط با مساله مکان‌یابی کلاسیک و هم مرتبط با مساله مسیریابی وسیله نقلیه[۲] (VRP) است. در واقع هر دو نوع این مسائل، می‌توانند به عنوان موارد خاص LRP در نظرگرفته شوند. اگر قرار باشد همه مشتریان به طور مستقیم مرتبط با تسهیل[۳] باشند، LRP یک مساله مکان‌یابی استاندارد است. از طرفی، اگر قرار باشد مکان تسهیل ثابت باشد، LRP به یک VRP کاهش می‌یابد [۱].

بر اساس مطالعات نگی و سالحی [۱] و مین و همکاران [۲]، LRP را می توان بر طبق جنبه های زیر طبقه بندی کرد: لایه تسهیلات (تکی یا چند لایه ای)، ساختار خدمت دهی (تک مرحله ای، دو مرحله ای یا خاص)، تعداد تسهیلات (تکی یا چند تسهیلی)، اندازه ناوگان وسایل نقلیه (تک وسیله ای یا چند وسیله ای)، ظرفیت وسایل نقلیه (ظرفیت دار یا بدون ظرفیت)، ظرفیت تسهیلات (ظرفیت دار یا بدون ظرفیت)، طبیعت تقاضا (قطعی یا احتمالی)، افق برنامه ریزی (تک دوره ای یا چند دوره ای)، پنجره های زمانی (نامشخص، نرم یا سخت)، تعداد اهداف (تکی یا چند هدفی)، داده های مدل (فرضی یا دنیای واقعی)، نوع تابع هدف (هزینه، زمان، احتمال)، فضای جواب (گسسته، پیوسته یا شبکه) و روش های حل (دقیق، ابتکاری یا فرا ابتکاری).

در این مقاله، دو جنبه جدید از LRP شامل احتمالی بودن خدمت دهی مراکز پشتیبانی و احتمالی بودن دسترسی به مسیرها، توسعه یافته است که به مسائل دنیای واقعی نزدیک می باشند. در ادامه، به چند مقاله که مرتبط با تحقیق جاری است، اشاره می شود.

راجاگوپلان و همکاران [۳] یک مدل مکان یابی پوشش چند دوره ای برای اعزام پویای آمبولانس ها ارائه دادند. لی و چانگ [۴] حل یک مساله مکان یابی گسسته، وقتی تسهیلات مستعد شکست می باشند، ارائه دادند. هوانگ [۵] یک مدل پوشش مجموعه احتمالی برای اقلام فاسد شدنی و فاسد نشدنی ارائه کردند. وو و همکاران [۶] راه حل های ابتکاری برای مسائل مکان یابی- مسیریابی چند تسهیلی ارائه دادند. الباردا- سمبولا و همکاران [۷] یک الگوریتم ابتکاری و روش حدی برای مساله مکان یابی- مسیریابی احتمالی ارائه دادند. هوانگ [۸] یک مدل لجستیکی زنجیره تامین طراحی کرد. هدف مدل، تعیین تعداد و مکان بهینه مراکز توزیع و نیز مسیر بهینه وسایل نقلیه می باشد. این مساله، در دو مرحله حل شده است. در مرحله اول، با رویکرد حل مساله پوشش مجموعه احتمالی[۴] (SSCP)، حداقل تعداد مراکز توزیع تعیین شد. در مرحله دوم، VRP با استفاده از یک روش فرا ابتکاری[۵] حل گردید.

گوجار و همکاران [۹] یک فرموله بندی بهینه سازی ترکیبی چندهدفی، برای مساله مکان یابی- مسیریابی در مدیریت مراقبت پزشکی، ارائه دادند. مین و همکاران [۱۰]، یک مدل ریاضی و روش حل کارا، برای مساله تخصیص دو معیاری مشتریان به تسهیلات ارائه دادند. کابالرو و همکاران [۱۱] یک مساله مکان یابی- مسیریابی چندهدفی برای مکان یابی مجتمع ضایعات دامی و مسیرهای بهینه خدمت به کشتارگاه ها ارائه نمودند. العمر و کارا [۱۲] یک مدل جدید برای مساله مکان یابی- مسیریابی ضایعات خطرناک ارائه نمودند. در این تحقیق، هدف حداقل کردن هزینه کل و ریسک حمل و نقل است. همچنین مساله با نرم افزار CPLEX حل شده است. ارکات و آلپ [۱۳] مساله طراحی مسیرهای حمل مواد خطرناک، در یک منطقه پر جمعیت را ملاحظه کردند. این مساله به روش برنامه ریزی عدد صحیح با تابع حداقل کردن ریسک حمل و نقل کل، فرموله بندی گردید و با یک روش ابتکاری، موازنه بین هزینه و ریسک برقرار گردید.

۲- مدل ریاضی پیشنهادی

در این مقاله، مدل ریاضی مساله LRP تحت این شرایط طراحی می شود که خدمت دهی هر مرکز توزیع و دسترسی به هر مسیر، با احتمال بین (۰ و ۱) معین است. بر اساس مطالعات تشریح شده به خصوص مطالعات هوانگ [۸] و العمر و کارا [۱۲]، در این مقاله تلاش می شود ابتدا با رویکرد حل مساله پوشش مجموعه احتمالی، تعداد و مکان مناسب تسهیلات تعیین گردد و سپس با توجه به نتایج مکان یابی، مساله مسیریابی وسیله نقلیه در حالت چند هدفی[۶] (MOVRP) حل شود. مدل ریاضی این دو مساله قبلاً طراحی شده است [۱۴].

۲- ۱- مسأله مکان یابی مراکز توزیع در حالت احتمالی

در این مقاله، مسأله مکان یابی مراکز توزیع به صورت مساله SSCP و در حالت گسسته در نظر گرفته شده است. در این مدل گسسته، نقاط تقاضا به صورت نقطه ای و غیر پیوسته می باشند و مسأله در قالب شبکه ای از مشتریان (به عنوان گره) که همزمان امکان استقرار مرکز توزیع بر روی هریک وجود دارد، تعریف می شود. همچنین در این مساله، هر مرکز توزیع با احتمال معینی در دسترس می باشد. هزینه تأسیس مراکز توزیع معین است و هر مشتری می تواند همزمان تحت پوشش چند مرکز توزیع قرار گیرد. هدف مدل، تعیین تعداد و مکان مناسب مراکز توزیع، به منظور پوشش مشتریان است.

الف- علائم، پارامترها و متغیر تصمیم گیری: i شمارنده تعداد مشتریان$(i=1,2,\ldots,n)$، j شمارنده تعداد تسهیلات $(j=1,2,\ldots,m)$، b_j احتمال در دسترس بودن مرکز توزیعj، C_j هزینه تاسیس مرکز توزیع j و a_{ij} ضریب پوشش مشتریان بوده و برابر یک است اگر مرکز توزیع مستقر در مرکز j بتواند مشتری i را تحت پوشش قرار دهد و گرنه، برابر صفر است. p_{ij} احتمال آن است که مشتری i به وسیله مراکز توزیع j پوشش یابد بطوری که $p_{ij} = a_{ij} \cdot b_j$ و نیز $q_{ij} = 1 - p_{ij}$ است. l_i احتمال آن است که مشتری i به وسیله برخی مراکز توزیع در دسترس، پوشش یابد. X_j متغیر تصمیم برابر یک است اگر مرکز توزیع در مرکز j قرار گیرد، در غیر این صورت برابر صفر خواهد بود.

ب- مدل ریاضی مساله مکان یابی مراکز توزیع: مدل ریاضی مساله مکان یابی با رویکرد حل مساله پوشش مجموعه، چنین تعریف می شود [۵، ۸ و ۱۴].

$$\mathrm{Min} \sum_{j=1}^{m} C_j X_j \qquad (۱)$$

$$\mathrm{S.t:} \sum_{j=1}^{m} S_{ij} X_j \geq W_i \quad , \quad i = 1,\ldots,n \qquad (۲)$$

$$X_j = (0,1) \ , \ j=1,\ldots,m \qquad (۳)$$

تابع هدف در رابطه (۱)، سعی در حداقل سازی هزینه تاسیس مراکز توزیع دارد. رابطه (۲)، شرط حداقل پوشش هر مشتری توسط برخی مراکز توزیع در دسترس را برقرار می کند. در این رابطه، $S_{ij} = -\log q_{ij}$ بوده و $W_i = -\log(1-l_i)$ است. همچنین رابطه (۳)، تعیین می کند که متغیرها از نوع صفر و یک هستند و به معنای تخصیص یا عدم تخصیص می باشند.

۲-۲- مساله مسیریابی وسیله نقلیه در حالت چندهدفی

برای مراکز توزیعی که در بخش قبل مکان یابی شدند، باید مسیرهای مناسب عبور وسایل نقلیه و برنامه های زمان بندی حمل و نقل، تعیین گردد. در این مقاله، مدل ریاضی مساله MOVRP در حالت احتمالی ارائه می گردد. بهینه سازی مساله به گونه ای عمل می کند که ضمن کمینه سازی هزینه حمل و نقل، ارسال اقلام در مسیرهایی صورت گیرد که با احتمال بیشتری در دسترس می باشند. در این مساله، اقلام مورد نیاز مشتری، در محل مرکز توزیع موجود است. مقدار تقاضای هر مشتری، ثابت و معین است. ناوگان وسایل نقلیه، همگن است. ظرفیت حمل هر وسیله نقلیه، محدود است و هر مسیر، با احتمال معینی در دسترس است.

الف- علائم و پارامترها و متغیر تصمیم گیری: N تعداد کل مشتریان (به‌طوری‌که مرکز توزیع در گره $i=1$ قرار دارد)، NV تعداد وسایل نقلیه، DV ظرفیت وسیله نقلیه، d_i تقاضای مشتری i، t_i^v زمان ارائه خدمت به مشتری i توسط وسیله نقلیه v، t_{ij}^v زمان سفر بین سویه(i,j) توسط وسیله نقلیه v، T_v حداکثر زمان خدمت دهی و طی مسیر توسط وسیله نقلیه v، C_{ij} هزینه حمل و نقل بین سویه(i,j) و P_{ij} احتمال دسترسی به مسیر بین سویه(i,j) است. X_{ij}^v متغیر تصمیم برابر یک است اگر وسیله نقلیه v، مسیر بین سویه (i,j) را طی کند، و گرنه برابر صفر است.

د- مدل ریاضی مساله مسیریابی وسیله نقلیه در حالت چند هدفی: مدل ریاضی مساله MOVRP پیشنهادی، به صورت زیر می باشد [۱۴].

$$Z_1 = \mathrm{Min} \sum_{i=1}^{N} \sum_{j=1}^{N} \sum_{v=1}^{NV} C_{ij} X_{ij}^{v} \quad (۴)$$

$$Z_2 = \mathrm{Max} \sum_{v=1}^{NV} (\prod_{i=1}^{N} \prod_{j=1}^{N} P_{ij} X_{ij}^{v}) \quad (۵)$$

$$\sum_{i=1}^{N} \sum_{v=1}^{NV} X_{ij}^{v} = 1 \quad , j = 2, \ldots, N \quad (۶)$$

$$\sum_{j=1}^{N} \sum_{v=1}^{NV} X_{ij}^{v} = 1 \quad , i = 2, \ldots, N \quad (۷)$$

$$\sum_{i=1}^{N} X_{ip}^{v} - \sum_{j=1}^{N} X_{pj}^{v} = 0, v = 1, \ldots, NV, p = 1, \ldots, N \quad (۸)$$

$$\sum_{i=1}^{N} d_i (\sum_{j=1}^{N} X_{ij}^{v}) \le DV \quad , v = 1, \ldots, NV \quad (۹)$$

$$\sum_{i=1}^{N} t_i^{v} \sum_{j=1}^{N} X_{ij}^{v} + \sum_{i=1}^{N} \sum_{j=1}^{N} t_{ij}^{v} X_{ij}^{v} \le T_v, v = 1, \ldots, NV \quad (۱۰)$$

$$\sum_{j=2}^{N} X_{ij}^{v} \le 1 \quad , v = 1, \ldots, NV \quad (۱۱)$$

$$X_{ij}^{v} \in \{0,1\} \quad , \quad \forall i, j, v \quad (۱۲)$$

$$\sum_{v=1}^{V} \sum_{i \in S} \sum_{j \in S} X_{ij}^{v} \le |S| - r(S), \forall S \subseteq A - \{1\}, S \neq \varnothing \quad (۱۳)$$

تابع هدف، از دو جزء تشکیل شده است. رابطه (۴) که جزء اول تابع هدف را تشکیل می‌دهد، در راستای کاهش هزینه حمل و نقل تعریف شده است. رابطه (۵) که جزء دوم تابع هدف را تشکیل می‌دهد، سعی دارد احتمال تحویل اقلام به مشتریان را حداکثر کند. روابط (۶) و (۷)، موجب می‌شوند هرگره تقاضا، فقط از یک وسیله نقلیه، خدمت دریافت کند. روابط (۸) و (۱۱) متضمن این است که اگر وسیله‌ای به گره‌ای وارد شود، باید از آن خارج گردد و به این ترتیب، پیوستگی بین مسیرها بر قرار گردد. رابطه (۹) مربوط به حداکثر ظرفیت وسیله نقلیه است و رابطه (۱۰) "حداکثر زمان طی مسیر و خدمت دهی" هر وسیله نقلیه را نشان می‌دهد. همچنین رابطه (۱۲)، دلالت می کند که متغیرها از نوع صفر و یک هستند، و به معنای عبور یا عدم عبور وسیله نقلیه v، در مسیر بین مشتریان i و j است. رابطه (۱۳) نیز به محدودیت زیر تورها معروف است. یعنی حذف تور یا حلقه‌های احتمالی که فاقد نقطه مبدا می‌باشند.

۲-۲-۱- تفسیر قسمت دوم تابع هدف مساله مسیریابی

در این بخش، چگونگی تبدیل حاصل ضرب به حاصل جمع و نیز تغییر Max به Min در رابطه (۵) یعنی قسمت دوم تابع هدف $Z_2 = \mathrm{Max} \sum_{v} (\prod_{i} \prod_{j} P_{ij} X_{ij}^{v})$، بحث می‌گردد. در رابطه (۵)، مقدار احتمال P_{ij} بین صفر و یک بوده و مقدار X_{ij}^{v} برابر صفر یا یک است. در مرحله بهینه‌سازی، اگر یکی از X_{ij}^{v} ها برابر صفر باشد، با توجه به حاصل ضرب پارامترها، کل مقدار Z_2 برابر صفر می‌شود. لذا به جای این که $Z_2 = f(x)$ بیشینه شود، می توان $Z_2' = f(x) + A$ را بیشینه کرد. پس می‌توان Z_2 را به صورت رابطه (۱۴) بیان کرد.

$$Z_2' = \mathrm{Max} \sum_{V} (\prod_{i} \prod_{j} (P_{ij} X_{ij}^{v} + 1 - X_{ij}^{v})) \quad (۱۴)$$

با این تغییر، چنان چه یکی از X_{ij}^{v} ها برابر صفر باشد، Z_2' هیچ وقت صفر نیست. یعنی؛

$$P_{ij} X_{ij}^{v} + 1 - X_{ij}^{v} = \begin{cases} 1 & , X_{ij}^{v} = 0 \\ P_{ij} & , X_{ij}^{v} = 1 \end{cases} \quad (۱۵)$$

از آنجا که بیشینه‌سازی یک تابع مانند $f(y)$ همراستا با بیشینه سازی $\mathrm{Lnf}(y)$ است، به جای بیشینه کردن Z_2' می‌توان $\mathrm{Ln}Z_2'$ را بیشینه کرد. لذا؛

$$Z_2'' = \mathrm{Ln}Z_2' = \mathrm{Ln}(\mathrm{Max} \sum_{V} (\prod_{i} \prod_{j} (P_{ij} X_{ij}^{v} + 1 - X_{ij}^{v}))) \quad \text{یا} \quad Z_2'' = \mathrm{Max} \sum_{V} \mathrm{Ln}(\prod_{i} \prod_{j} (P_{ij} X_{ij}^{v} + 1 - X_{ij}^{v})) \quad (۱۶)$$

از طرفی؛ $Ln(A_1 * A_2 ...) = LnA_1 + LnA_2 + ... = \sum_i LnA_i$ لذا؛

$$Z_2'' = Max \sum_V (\sum_i \sum_j Ln(P_{ij} X_{ij}^v + 1 - X_{ij}^v)) \quad (۱۷)$$

قبلا نیز بیان شد بیشینه کردن یک تابع مانند $f(y)$ همراستا با بیشینه کردن $Ln\ f(y)$ است. لذا؛

$$Z_2''' = Max \sum_V \sum_i \sum_j (P_{ij} X_{ij}^v + 1 - X_{ij}^v) \quad (۱۸)$$

از آنجا که قسمت اول تابع هدف کمینه‌سازی و قسمت دوم تابع هدف بیشینه‌سازی است، برای سادگی بهینه‌سازی کل تابع هدف، قسمت دوم تابع نیز به کمینه‌سازی تبدیل می‌گردد. لذا رابطه (۱۸) در ۱- ضرب می‌شود. یعنی $Z_2''' = -Min \sum_V \sum_i \sum_j (P_{ij} X_{ij}^v + 1 - X_{ij}^v)$ یا

$$Z_2''' = Min \sum_V \sum_i \sum_j (-P_{ij} X_{ij}^v - 1 + X_{ij}^v) \quad (۱۹)$$

با جاگذاری $P_{ij} = 1 - q_{ij}$ در رابطه (۱۹)، خواهیم داشت:

$$Z_2''' = Min \sum_V \sum_i \sum_j (-(1-q_{ij}) X_{ij}^v - 1 + X_{ij}^v) = Min \sum_V \sum_i \sum_j (-X_{ij}^v + q_{ij} - 1 + X_{ij}^v)$$

یا

$$Z_2''' = Min \sum_V \sum_i \sum_j (q_{ij} X_{ij}^v - 1) \quad (۲۰)$$

حدود i، j و v به ترتیب برابر۱ تا N، N و NV است. لذا:

$$Z_2''' = Min \sum_V \sum_i \sum_j q_{ij} X_{ij}^v - N^2 NV \quad (۲۱)$$

با نادیده گرفتن مقدار ثابت، قسمت دوم تابع هدف، چنین به دست می‌آید:

$$Z_2 = Min \sum_V \sum_i \sum_j q_{ij} X_{ij}^v \quad (۲۲)$$

۲-۲-۲- روش بهینه سازی چندهدفی

در این مقاله، یک تابع چند هدفی ارائه شده است. لذا یک روش حل چند هدفی نیز مطابق آن باید ارائه شود. برای بهینه‌سازی مسائل چند هدفی، روش‌های مختلفی وجود دارد که به پنج دسته، طبقه‌بندی می‌شوند [۱۵]: روش‌های عددی[۷]، روش‌های تعاملی[۸]، روش‌های فازی، روش‌های فراابتکاری‌ها و روش‌های تصمیم یار[۹].

هم چنان که کابالر و همکاران [۱۱]، العمر و کارا [۱۲] و ارکات و آلپ [۱۳]، برای سادگی حل مسأله، یک تابع هدف با ترکیب خطی از هزینه، ریسک و غیره بکار بردند، در این مقاله نیز یک ترکیب خطی محدب از هزینه و احتمال تعریف می‌گردد. از آنجا که هزینه و احتمال واحدهای مختلفی دارند، لازم است مقادیر آنها در تابع هدف، عددی گردد. ترکیب خطی محدب آن‌ها، چنین است:

$$\lambda Z_1^{norm} + (1-\lambda) Z_2^{norm} \quad , 0 \le \lambda \le 1 \quad (۲۳)$$

در این رابطه، Z_2^{narm}, Z_1^{narm} به ترتیب مقدار نرمال شده[۱۰] جزء اول و دوم تابع هدف می‌باشند. چنان چه تابع هدف i به صورت کمینه‌سازی باشد، مقدار نرمال شده آن چنین به دست می‌آید [۱۶].

$$Z_i^{norm} = \frac{Z_i - Z_i^*}{Z_i^{nad} - Z_i^*} \quad (۲۴)$$

در این رابطه، Z_i مقدار تابع i، Z_i^* مقدار مطلوب[۱۱] تابع هدف i، Z_i^{nad} مقدار حضیض[۱۲] تابع هدف i و Z_i^{norm} مقدار نرمال شده تابع هدف i است. با توجه به این که هر دو قسمت تابع هدف، به صورت کمینه‌سازی است، رابطه (۲۴) به صورت زیر بیان می‌گردد.

$$Z_i^{norm} = \frac{Z_i - Z_i^{min}}{Z_i^{max} - Z_i^{min}} \quad (۲۵)$$

در مطالعه العمر و کارا [۱۲]، تابع هدف؛ ترکیب خطی از هزینه و ریسک است و هر مقدار تابع، بر بیشینه خود تقسیم شده است. به عبارت دیگر، مقدار کمینه تابع هدف هزینه و ریسک، برابر صفر در نظر گرفته شده است. در این مقاله نیز، Z_1^{min} و Z_2^{min} به ترتیب مقدار کمینه تابع هدف هزینه و تابع هدف احتمال برابر صفر فرض می‌شود. بنابراین مقدار کل تابع هدف، چنین به دست می‌آید:

$$Z_{opt} = \lambda(\frac{Z_1}{Z_1^{max}}) + (1-\lambda)(\frac{Z_2}{Z_2^{max}}) \quad Z_1^{min} = 0 \Rightarrow Z_1^{norm} = \frac{Z_1}{Z_1^{max}} \quad , \quad Z_2^{min} = 0 \Rightarrow Z_2^{norm} = \frac{Z_2}{Z_2^{max}} \Rightarrow \quad (۲۶)$$

در رابطه (۲۶)، z_1 مقدار تابع هزینه، Z_1^{max} مقدار بیشینه تابع هدف هزینه، z_2 مقدار تابع هدف احتمال"عدم تحویل اقلام"، Z_2^{max} مقدار بیشینه احتمال "عدم تحویل اقلام"، λ عددی بین ۰ و ۱ بوده و Z_{opt} مقدار کل تابع هدف است.

۳- نتایج محاسباتی

در بخش قبل، مدل ریاضی مساله LRP در حالت احتمالی ارائه گردید. در این تحقیق، مساله اصلی مکان یابی- مسیریابی، در قالب دو مساله فرعی شامل مساله مکان یابی مراکز توزیع و مساله VRP در حالت چندهدفی تحلیل می شود. با توجه به پیشرفت علوم کامپیوتری و نرم افزارهای مرتبط با تحقیق در عملیات، این دو مساله با نرم افزار لینگو ۸ و در یک کامپیوتر پنتیوم ۴ با ۲/۴ گیگا هرتز حل می شود. در ادامه، جمع آوری داده ها و تحلیل نتایج در هر دو مساله بحث می شود.

۳-۱- نتایج حل مساله پوشش مجموعه احتمالی

برای حل مساله SSCP، پارامتر n تعداد مشتریان و m تعداد مراکز توزیع به طور دستی وارد برنامه می شود. a_{ij} ضرایب پوشش مشتریان (یعنی تعداد یک های موجود در ماتریس پوشش [A]) به طور تصادفی ایجاد شده و b_j احتمال در دسترس بودن مرکز توزیع j، با تابع توزیع یکنواخت بین ۰ و ۱ تولید می شود. C_j هزینه تاسیس مرکز توزیع j، با تابع توزیع یکنواخت بین ۵۰۰۰ و۲۰۰۰۰ واحد هزینه تولید شده و l_i حداقل احتمال پوشش مشتری i به وسیله برخی مراکز توزیع نیز با تابع توزیع یکنواخت بین ۰/۹ و ۱ تولید می شود. با توجه به این داده ها، شش مساله نمونه با نرم افزار لینگو ۸ حل گردید. این نتایج که در کمتر از ۱ ثانیه بدست آمده است، در جدول (۱) نشان داده شده است.

جدول۱: نتایج حاصل از حل شش مساله پوشش مجموعه احتمالی

مساله	تعداد مراکز	تعداد مشتریان	تابع هدف	تعداد مراکز استفاده شده	مراکز توزیع استفاده شده
P1	۱۰	۵۰	۹۳۰۶۱	۸	۱، ۲، ۳، ۴، ۶، ۷، ۹ و ۱۰
P2	۱۰	۷۵	۱۰۴۵۰۹	۹	۱، ۲، ۳، ۴، ۵، ۶، ۷، ۹ و ۱۰
P3	۱۰	۱۰۰	۱۱۵۴۱۵	۱۰	۱، ۲، ۳، ۴، ۵، ۶، ۷، ۸، ۹ و ۱۰
P4	۲۰	۵۰	۱۴۶۹۶۸	۱۴	۱، ۳، ۴، ۷، ۸، ۱۰، ۱۱، ۱۲، ۱۳، ۱۴، ۱۵، ۱۶، ۱۷ و ۲۰
P5	۲۰	۷۵	۱۶۱۶۲۵	۱۴	۱، ۲، ۳، ۴، ۶، ۷، ۸، ۱۰، ۱۱، ۱۲، ۱۳، ۱۴، ۱۵ و ۱۸
P6	۲۰	۱۰۰	۱۷۵۱۸۹	۱۶	۱، ۳، ۴، ۶، ۷، ۸، ۱۰، ۱۱، ۱۲، ۱۳، ۱۴، ۱۵، ۱۶، ۱۷، ۱۸ و ۲۰

۳-۲- نتایج حل مساله مسیریابی وسیله نقلیه در حالت چندهدفی

پارامترهای ورودی مساله، شامل مشخصات مراکز توزیع، مشتریان، وسایل نقلیه و ضریب تابع هدف است. پارامترهای مربوط به مراکز توزیع شامل تعداد مرکز توزیع، ماتریس پوشش مشتریان، زمان و هزینه سفر بین هر مرکز توزیع و مشتریان، احتمال در دسترس بودن مسیر بین هر مرکز توزیع و مشتریان است. پارامترهای مربوط به مشتریان شامل؛ تعداد مشتریان، مقدار تقاضای مشتریان، زمان و هزینه سفر بین مشتریان و احتمال در دسترس بودن مسیر بین مشتریان است. پارامترهای مربوط به وسایل نقلیه شامل تعداد وسایل نقلیه، مدت زمان خدمت‌دهی وسیله نقلیه به هر مشتری، ظرفیت هر وسیله نقلیه و مدت زمان کار روزانه هر وسیله نقلیه است.

با توجه به حل مساله پوشش مجموعه احتمالی در بخش (۳-۱)، تعداد مراکز توزیع و نیز ماتریس پوشش مشتریان تعیین می شود. علاوه بر آن، تعداد مشتریان و تعداد وسایل نقلیه به طور دستی وارد برنامه می‌شود. ولی بقیه پارامترها، با توزیع یکنواخت در بازه‌ای که در جدول (۲) مشخص شده است، توسط نرم افزار ویژوال بیسیک نسخه ۶ تولید می‌شوند. در این مقاله، یک تابع دو هدفی ارائه شده است و ضریب تابع هدف (λ)، به طور پیش فرض برابر ۰/۵ انتخاب شده است. داده‌های مرتبط با پارامترهای ورودی و بازه تولید آن ها، در جدول (۲) مشخص شده است.

جدول۲: داده‌های مربوط به مساله مسیریابی وسیله نقلیه در حالت چند هدفی

موجودیت	پارامتر	مقدار داده ها یا روش تولید داده ها
مرکز توزیع	تعداد مرکز توزیع	خروجی مساله پوشش مجموعه احتمالی (از نرم افزار لینگو ۸)
	ماتریس پوشش مشتریان	خروجی مساله پوشش مجموعه احتمالی (از نرم افزار لینگو ۸)
	هزینه سفر	یکنواخت بین (۵۰۰ و ۱۰۰۰) واحد هزینه
	زمان سفر	یکنواخت بین (۰/۳ و ۱/۸) ساعت
	احتمال دسترسی به مسیر	یکنواخت بین (۰ و ۱)
مشتری	تعداد مشتریان	۶ تا ۹ مشتری
	مقدار تقاضا	یکنواخت بین (۰/۱ و ۱/۱) تن
	هزینه سفر	یکنواخت بین (۵۰۰ و ۱۰۰۰) واحد هزینه
	زمان سفر	یکنواخت بین (۰/۳ و ۱/۸) ساعت
	مدت خدمت دهی به هر مشتری	یکنواخت بین (۰/۳ و ۰/۸) ساعت
	احتمال دسترسی به مسیرهای بین مشتریان	یکنواخت بین (۰ و ۱)
وسیله نقلیه	تعداد وسیله نقلیه	۳ و ۴ خودرو
	ظرفیت وسیله نقلیه	۲ تن
	کل مدت خدمت دهی	۸ ساعت
ضریب تابع	λ	۰/۵

هشت مساله نمونه MOVRP به وسیله نرم افزار لینگو ۸ حل شده است و نتایج حاصله در جدول (۳) آمده است. مقدار تابع هدف در این جدول، ترکیب خطی محدب از هزینه و احتمال است و از آن جا که این دو جزء تابع هدف، واحدهای مختلفی دارند، مطابق رابطه (۲۶) از مقادیر نرمال شده آن ها استفاده گردید. همان طور که در این جدول مشاهده می گردد، با افزایش ابعاد مسأله، زمان رسیدن به جواب در نرم افزار لینگو ۸، به طور نمایی افزایش می یابد که این مشکل به دلیل پیچیدگی محاسباتی مساله VRP است.

جدول۳: نتایج حل مساله مسیریابی وسیله نقلیه در حالت چند هدفی

مساله	تعداد خودرو	تعداد مشتری	تابع هدف	زمان(ثانیه)
P7	۳	۶	۵/۲۹	۶
P8	۳	۷	۵/۳۲	۵۸
P9	۳	۸	۵/۴۲	۳۲۸
P10	۳	۹	۵/۹۳	۱۴۹۶
P11	۴	۶	۵/۵۰	۳۲
P12	۴	۷	۵/۸۸	۳۰۵
P13	۴	۸	۶/۳۴	۲۶۱۲
P14	۴	۹	۶/۵۴	۷۴۵۱

٤- نتیجه گیری و پیشنهادها

در این مقاله، مدل ریاضی مساله مکان یابی- مسیریابی در حالتی که هر مرکز توزیع و هر مسیر، با احتمال معینی در دسترس باشند، طراحی و حل شده است. در این تحقیق، ابتدا با رویکرد حل مساله پوشش مجموعه احتمالی، تعداد و مکان مناسب مراکز توزیع تعیین و سپس با توجه به نتایج مکان یابی، مساله مسیریابی وسیله نقلیه در حالت چند هدفی حل شده است. با توجه به پیشرفت نرم افزارهای مرتبط با تحقیق در عملیات، هر دو مساله با نرم افزار لینگو ۸ حل شده است.

شش مساله نمونه در مکان یابی تسهیلات و هشت مسأله نمونه در مسیریابی وسیله نقلیه در حالت چندهدفی حل شده است. تعداد مراکز توزیع و نیز ماتریس پوشش مشتریان، از ورودی های مساله مسیریابی وسیله نقلیه است که از حل مساله مکان یابی مراکز توزیع استخراج شده است. بهینه‌سازی مسأله مسیریابی وسیله نقلیه، به گونه‌ای عمل می کند که ضمن کمینه‌سازی هزینه حمل و نقل، تحویل اقلام در مسیرهایی صورت گیرد که با احتمال بیشتری در دسترس می باشند. با افزایش ابعاد مسأله مسیریابی وسیله نقلیه، زمان رسیدن به جواب در نرم افزار لینگو ۸ به طور نمایی افزایش یافته است که این مشکل به دلیل پیچیدگی محاسباتی مدل ریاضی پیشنهادی است. از این رو، استفاده از الگوریتم های فرا ابتکاری توصیه می گردد. علاوه بر این، برای انجام تحقیقات آتی؛ ملاحظه پنجره های زمانی، ملاحظه پارامترها به صورت فازی، ملاحظه همزمان ساختار خدمت دهی دریافت و تحویل، ملاحظه افق برنامه ریزی پویا پیشنهاد می گردد.

منابع و مراجع

1- Nagy, G. and Salhi, S. “Location- routing: Issues, models and methods”, European Journal of Operational Research, Vol. 176, 2007, PP. 649-672.
2- Min, H., Jayaraman, V., Srivastava, R. “Combined location- routing problem: A synthesis and future research directions”, European Journal of Operational Research, Vol. 108, 1998, PP. 1-15.
3- Rajagopalan, H. K., Saydam, C. and Xiao, J. “A multi-period set-covering location model for dynamic redeployment of ambulances”, Computers & Operations Research, Vol. 35, 2008, PP. 814-826.
4- Lee, S.D. and Chang, W.T. “On solving the discrete location problems when the facilities are prone to failure”, Applied Mathematical Modeling, Vol. 31, 2007, PP. 817-831.
5- Hwang, H.S. “A stochastic set-covering location model for both ameliorating and deteriorating items”, Computers & Industrial Engineering, Vol. 46, 2004, PP. 313-319.

6- Wu, T.H., Low, C., Bai, J.W. “Heuristic solution to multi-depot location-routing problems”, Computers & Operations Research, Vol. 29, 2002, PP. 1393-1415.
7- Albareda-Sambola, M., Fernandez, E., Laporte, G. “Heuristic and lower bound for a stochastic location-routing problem”, European Journal of Operational Research, 179, 2007, 940-955.
8- Hwang, H.S. “Design of supply-chain logistics system considering service level”, Computers & Industrial Engineering, Vol. 43, 2002, PP. 283-297.
9- Doerner, K., Focke, A., Gujahr, W.J. “Multicriteria tour planning for mobile healthcare facilities in a developing country”, European Journal of Operational Research, Vol. 179, 2007, PP. 1078-1096.
10- Zhou, G., Min, H., Gen, M. “A genetic algorithm approach to the bi-criteria allocation of customers to warehouses”, International Journal of production Economics, Vol. 86, 2003, PP. 34-45.
11- Caballero, R., Gonzalez, M., Guerrero, F.M., Molina, J. and Paralera, C. “Solving a multi-objective location routing problem with a metaheuristic based on tabu search: Application to a real case in Andalusia”, European Journal of Operational Research, Vol. 176, 2007, PP. 1751-1763.
12- Alumur, S. and Kara, B.Y. “A new model for the hazardous waste location-routing problem”, Computers & operations Research, Vol. 34, 2007, PP. 1406-1423.
13- Erkut, E. and Alp, O. “Designing a road network for hazardous material shipment”, Computers & Operations Research, Vol. 34, 2007, PP. 1389-1405.
۱۴- حسن پور، ح.، مصدق خواه، م.، توکلی مقدم، ر. "طراحی دو مدل ریاضی برای مساله مکان یابی- مسیریابی در حالت احتمالی"، پنجمین کنفرانس بین المللی مهندسی صنایع، تهران، ۱۳۸۶.
15- Rahimi-Vahed, A.R., Rabbani, M., Tavakkoli-Moghaddam, R., Torabi, S.A. and Jolai, F. “A multi-objective scatter search for mixed-model assembly line sequencing problem”, Advanced Engineering Informatics, Vol. 21, 2007, PP. 85-99.
16- Deb, K. Multi-objective optimization using evolutionary algorithms, Chichester, Sussex, John Wiley & Sons, 2003.

---

[1] -Location-Routing Problem
[2] -Vehicle Routing Problem
[3] -Facility
[4] -Stochastic Set-Covering Problem
[5] -Metaheuristic
[6] -Multi-Objective Vehicle Routing Problem
[۷]- Scalar
[۸]- Interactive
[۹]- Decision aid
[۱۰]- Normalize
[۱۱]- Ideal
[۱۲]- Nadir