2th International Conference on Industrial Management
19 & 20 April 2017
دومین کنفرانس بین المللی مدیریت صنعتی
(30 و 31 فروردین 1396)

حل مسئله مسیریابی وسایل نقلیه با استفاده از روش تولید ستون

نرگس مهرانجو[1]، جواد بهنامیان*[2]

کارشناسی ارشد مهندسی صنایع، دانشگاه بوعلی سینا همدان؛Narges.mhr94@gmail.com
[2]استادیار مهندسی صنایع، دانشگاه بو علی سینا همدان، Behnamian@basu.ac.ir

چکیده

حمل و نقل در سیستمهای اقتصادی تولیدی و خدماتی از جایگاه مهمی برخوردار است و بخش قابل توجهی از تولیدناخالص ملی (GNP) هر کشوری را به خود اختصاص میدهد. به همین جهت محققان نسبت به بهبود مسیرها وحذفسفرهای غیرضروری و یا ایجاد مسیرهای کوتاه جایگزین، اقدام کردهاند.مباحثی مانند فروشنده دورهگرد، مسیریابیوسیله نقلیه (VRP)و غیرهدر همین راستا توسعه یافتهاند. عموماً، در مورد مسیریابی تسهیلات فرض بر این است کهنوعی انحصار در محیط وجود دارد و هیچ گونه توجهی به تاثیر بر مسیریابی مناسب بر رقابت در نظر گرفته نشده است .مسئله مسیریابی وسایط نقلیه جزء مسائل NP-hard است. این مسالهدرصدد است تا با مدلهای ریاضی و بهینهسازی به گونهای عملکند که مسافت طی شده، زمان کل سفر، تعداد وسایط نقلیه،جریمههای دیرکرد و در نهایت تابع هزینه حمل و نقل کمینه ودر نهایت رضایت مشتریان حداکثر شود. به علت ساختار بسیار مشکل مسئله VRP الگوریتمهای دقیق به ندرت برای این مسئله مورد استفاده واقعشده است اماالگوریتمهای ابتکاری و فراابتکاری از اقبالبیشتریبرخوردار بوده است. برای نمونه از الگوریتمهای باکیفیت میتوانبه روش تولید ستون اشاره کرد. که در این تحقیق مورد استفاده قرار گرفته است.روش تولید ستون یک روش حل برنامه ریزی غیر صحیح برای برنامه های کاربردی (با تقاضای زیاد) و گرد کردن به نزدیکترین عدد صحیح باپاسخ رضایت بخش می باشد.

کلمات کلیدی

مسیریابی وسایط نقلیه حمل و نقل ، تولید ستون، بهینه سازی

1- مقدمه

مسئله مسیریابی وسایط نقلیه دارای نقش بسیار مهمی درلجستیک و توزیع کالاست، مدل کلاسیک مسئله مسیریابی وسایط نقلیه با در نظر گرفتن ظرفیت محدود وسایط به وسیله یک گراف که درآن گرهها، مشتریان(m) هستند و یالها مسیر بینمشتریان را نشان می‌دهند، ارائه شد. در این مدل هر مشتری مقدار مشخصی تقاضا دارد که تمامی این تقاضاها (q) بایستی با یـ کوسیله نقلیه حمل شود.

با توجه به مشاهدات واقعی، در بین توزیع کنندگان در محیط رقابتی وجود دارد که لازم است علاوه بر در نظر گرفتن طول مسیر و میزان گنجایش وسایط نقلیه که منجر به کاهش هزینه حمل و نقل می‌شود، باید زمان رسیدن رقبای دیگر نیز به مقاصد در نظر گرفته شود. اهمیت این موضوع چنان است که واحدهای تولیدی برای به دست

آوردنبیشترین نقدینگی و از دست ندادن بازار فروش، مسیریابی وسـایط نقلیه را بر اساس وضیعت رقبای دیگـر تعیین مـی‌کننـد.

دنتزیگ و همکاران برای اولین بـار مـسئله مـسیریابی وسـایط حمل و نقل را مدل کردند و بر اسـاس روشهـای ریاضـی بـه حـل آن پرداختند. در ادامه کلارک و رایت الگوریتم صرفه جویی را بـرای حل VRPپیشنهاد کردند که مبنـای بـسیاری از تحقیقـات بعـدی قرار گرفت همچنین در ادامـه تـوکلی مقـدم و همکـاران یک مدل ریاضی برای مسئله حمل و نقل وسایط نقلیه بازگشتی (VRPB) را توسعه دادند که به دلیل پیچیدگی مـدل، از الگـوریتم ممتیک بـرای حـل آن اسـتفاده کردنـد.
فیـشر و لاپـورت وهمکـــاران بـــرای حـــل مـــسئله مـــسیریـابی وســـایط نقلیـــه، رویکردهای گوناگونـی از روش شاخه و حـد (کران) را توسـعه دادنـد. در چند سال اخیر به مسیریابی وسـایط نقلیـه چنـد هدفـه توجـه زیادی شده است، از جمله اهدافی که در این مقالات مورد توجـه قرارگرفته، می‌توان به موارد میزان کالایی که درهـر مـسیر جابجـا می‌شود، تعداد مشتریانی که در هر مـسیر قـرار می گیرنـد، طـول مسیرها و با زمان عبور از مسیر ها اشاره کرد . همچنـین راسـل به منظور بهبود جوابهـای ارائه شـده، روش مناسـبی بـرای ایجاد زیر تور و جستجوی محلی ارائه کرد. جوزیفیس و همکاران به بررسی مسیریابی وسایط نقلیه با هدف کمینه کردن طـول مسیر و بالانس کردن مسیرها پرداختند کـه بـرای حـل مـسئله از روشهای فراابتکاری با اپراتورهای سنتی مربوط به مسائل چنـدهدفه استفاده کرده‌اند. بریوب و همکاران به بررسـی مـسائل چند هدفه و بررسـی حـل آنهـا بـه وسـیله روش -εمحـدودیت پرداختند، آنهـا در ادامـه مـسئله فروشـنده دوره گـرد را بـا ارائه روشهای فراابتکاری سریع در حالت چند هدفه حل کردند. قــصیری و قنــادپور یــک مــسئله مــسیریابی وســایط نقلیــه (لوکوموتیوها) با پنجره زمـانی را در نظـر گرفتنـد کـه هـدف آن کمینه کردن کل هزینه تخصیص لوکوموتیوها با توجـه بـه هزینـه مسافت، زمان، هزینه تأخیرها و انتظارهاست. آنها از یک الگوریتم ژنتیک تلفیقی با معرفی دو اپراتور جدید برای حل مـساله مـورد نظر استفاده کردند که نتایج مربوطه با نرم افـزار Lingo 8 مقایـسه شده است. سپهری و حسینی مطلق یک مدل ریاضی جدید، مبتنی بر مسئله فروشنده دوره گرد تعمیم یافته ،ارائه کردند که درآن مسئله مسیریابی بهینه سیستمهای حمل ونقل اقـلام و قطعـات از یک سیستم گذاشت و برداشت اتوماتیـک (AS/RS) برگرفتـه شـده اسـت. بـرای حـل مـسئله مـورد نظـر از الگـوریتم اجتمـاع مورچگان استفاده شده است که جوابهای به دست آمده با نرم افزار Lingo 8 مورد مقایسه قرار گرفته است. تـوکلی مقـدم و همکاران مسئله وسایط نقلیه را درحالت تقاضای جدا شده در نظر گرفتند، دراین مسئله اجازه داده می‌شود کـه تقاضـای هـر مشتری توسط چند وسیله تامین شود. تابع هدف کمینـه مـسافت طی شده و حداکثر کردن استفاده از ظرفیت وسـایط نقلیـه در ایـن تحقیق مورد توجه قرار گرفته است. این روش ازحل کامل مسئله اصلی (MP) اجتناب کرده و به جای آن به حل متناوب (RMP) می‌پردازدکه به یک زیر مسئله اشاره دارد.

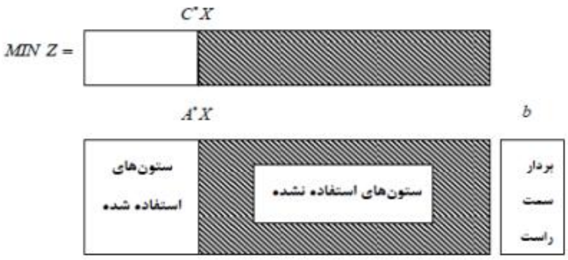
1- روش مبتنی بر تولید ستون(CG)

1-2 روش ایجاد ستون

روش ایجاد ستون روش موثر و کارایی برای مسائلی استکه تعداد متغیرهای تصمیم‌گیری زیادی در فرمولبندی

ریاضی آن

به کار گرفته شده است. در این روش، همه‌ی متغیرهای به کارگرفته شده در مسئله در نظر گرفته نمی‌شوند بلکه به صورت تدریجی متغیرهای ضروری به مسئله اضافه می‌شوند و می‌توان یک جواب شدنی مسئله را بدون داشتن همه متغیرهایش تعیین کرد. شکل زیر یک مسئله برنامه ریزی خطی را نشان می دهد که قسمت هاشور خورده متغیرهایی که برای بدست آوردن جواب بهینه مورد نیاز نمی باشند را نشان می دهد و این متغیرها در حل مسئله می توانند استفاده نشوند و مسئله با تعداد متغیر های کمتری در زمان مناسب تری حل شود.



شکل 1 ساختار مدل

در این روش، از مسئله اصلی یا مسئله اولیه (MP)[1]یک مسئله اصلی محدود (RMP)[2]که شامل زیر مجموعه هایی از l≤n1متغیر از متغیرهای مسئله است به دست می‌آید که در آن بقیه n- l متغیر صفر قرار داده می‌شوند. در ابتدا RMP شامل این متغیرها و همهی محدودیتهای MP مرتبط با اینمتغیرها، می‌باشد توجه شود که متغیرهایی که در RMP قرارمی‌گیرند و این مسئله را تشکیل می‌دهند باید یک جواب شدنی را برای این مسئله تولید کنند (سپس ستونهای) متغیرهای بعدی با حل یک مسئله بهینه‌سازی خاص، که مسئله فرعی نامیده می‌شود، شناسایی و به RMP اضافه می‌شوند. هدف RMP تعیین مقدار متغیرهای دوگان محدودیتهای مسئله است. با درنظر گرفتن مسئله‌ی زیر، گامهای روش ایجاد ستون در زیر نشان داده شده است.

$$Min \quad z=\sum_{j=1}^{n} c_j\, x_j$$

$$s.t.$$

$$\sum_{j=1}^{n} a_{ij}x_j=b_i \qquad \forall i=1,2,\dots,m \qquad (1)$$

$$x_j=0 \qquad \forall j=1,2,\dots,n$$

[1]Master Problem
[2]Restricted Master Problem

2-1-1 گام 1

در ابتدا RMP شدنی با l متغیر تعریف می‌شود و سایر متغیرها به صفر کاهش می یابد. معمولا RMP با استفاده ار یک روش ابتکاری ایجاد می‌شود یا با متغیرهای مصنوعی شروع به کار می‌کند.

$$RMP \qquad Min \;\; z^l = \sum_{j=1}^{n} c_j x_j$$

$$s.t.$$

$$\sum_{j=1}^{l} a_{ij} x_j = b_i \qquad \forall i = 1,2,\dots,m \qquad (2)$$

$$x_j \geq 0 \qquad \forall j = 1,2,\dots,l$$

2-1-2 گام 2

RMP با روش سیمپلکس یا سیمپلکس اصلاح شده ، حل می شود و جواب بهینه مسئله تعیین و مقادیر متغیرهای x_iتا x_l مشخص می شوند. این جواب همچین برای MP شدنی است زیرا در RMP همه ی محدودیت های MP حفظ شده اند.

در این گام قیمتهای سایه تولید می شوند. باید توجه کرد که قیمت سایه $\pi = c_B B^{-1}$میزان تغییر تابع هدف توسط افزایش بردار سمت راست است.در RMP قیمت سایه برای تعریف متغیر ورودی بعدی و بررسی اینکه جواب بدست آمده بهینه است یا نه به کار گرفته میشود.در مسائل بزرگ مقیاس که هزاران متغیر وجود دارد قیمت گذاری همه ی متغیرهای غیر پایه ای کاری بس دشوار و خسته کننده است.در چنین وضعیتی روش ایجاد ستون نقش کلیدی و مهمی بازی میکند. ایده اصلی روش ایجاد ستون آن است که با روشی موثر ستونی را یافته که قیمتی مناسب برای ورود به پایه داشته باشد.

2-1-3 گام3

مسئله فرعی $z_{sub} = min\{c_j - \sum_{j=1}^{m} \pi a_j\}$ حل میشود که این مسئله شاملc_j(ضرائب هزینه) ، π(قیمت سایه ای) و a_j(ستون ماتریس A) می باشد.

به منظور بدست آوردن یک جواب شدنی از مسئله فرعی چندین محدودیت باید در نظر گرفته شود. این محدودیتها ناحیه ای از جوابهای شدنی را نشان می دهد و بر اساس اطلاعات ساختاری هر مسئله فرعی در نظر گرفته میشوند. اگر $z_{sub} \geq 0$باشد آن گاه جواب اخیر بدون در نظر گرفتن همه ی a_j ها بهینه است.در غیر این صورت اگر $z_{sub} < 0$ باشد آنگاه جواب اخیر بهینه نیست و a_j نظیر متغیر خاص j وارد RMP می شود.

2-1-4 گام 4

ستون جدید به RMP اضافه میشود. این ستونجدید در گام 3محاسبه شد و برای نمایش این ستون در پایه اخیر از رابطه$\overline{a_j} = B^{-1} a_j$استفاده میشود. با اضافه کردناین ستون جدید بهRMP تعداد متغیرها به $l + 1$افزایش میابد.

3-مدل ریاضی MPبرای مسئلهVRP

برای مدلبندی مسئله VRPلازم است که ابتدا علائم،مجموعه‌ها، پارامترها و متغیرها به صورت زیر تعریف شوند تا بتوان تابع هدف و محدودیت‌های آن را نیز ارائه کرد.

3-1 پارامترها و متغیرها

c_{ij} هزینه سرویس دهی مسیر i به j

x_{ij}^{k} متغیر باینری نشاندهنده اینکه بین گره i به گره j توسط وسیله k ام مسیری وجود دارد یا خیر؟ (متغیر تصمیم)

$$x_{ij}^{k} = \begin{Bmatrix} 1 & i\ to\ j \\ 0 & else \end{Bmatrix}$$

q_j تقاضای گره j

Q_k ظرفیت وسیله نقلیه Kام

k تعداد وسیله نقلیه

$$Minimize \qquad z = \sum_{k=1}^{m}\sum_{i=1}^{n}\sum_{j=1}^{n} c_{ij}x_{ij}^{k} \quad (3)$$

$$subject\ to \qquad \sum_{k=1}^{m}\sum_{i=1}^{n} x_{ij}^{k} = 1 \qquad j = 1,2,\dots,n \qquad (4)$$

$$\sum_{j=1}^{n} x_{0j}^{k} = 1 \qquad k = 1,2,\dots,m \qquad (5)$$

$$\sum_{i=1}^{n} x_{i0}^{k} = 1 \qquad k = 1,2,\dots,m \qquad (6)$$

$$\sum_{i=0}^{n} x_{ij}^{k} - \sum_{i=0}^{n} x_{ji}^{k} = 0 \qquad k = 1,2,\dots,m \qquad j = 1,2,\dots,n \qquad (7)$$

$$\sum_{i=0}^{n}\sum_{j=1}^{n} q_{ij}x_{ij}^{k} \le Q \qquad k = 1,2,\dots,m \qquad (8)$$

محدودیت (4) نشاندهنده آنست که از هر مبدا به هر مقصد به وسیله یک ماشین تنها یک مسیر وجود دارد.

محدودیت (5) نشاندهنده آنست که از دپو (انبار) به یک مقصد به وسیله یک وسیله نقلیه تنها یک مسیر وجود دارد.

محدودیت (6) نشاندهنده آنست که از یک مبدا تنها به یک دپو به وسیله یک وسیله نقلیه یک مسیر وجود دارد.

محدودیت (7) اگر از i به j مسیری وجود داشته باشد آنگاه از j به i نیز یک مسیر وجود دارد و این دو مسیر یکی هستند.

محدودیت (8) نشاندهنده آنست که از مجموع تقاضای مشتریان در هر مسیر به وسیله یک وسیله نقلیه باید کوچکتر یا مساوی ظرفیت وسیله نقلیه باشد.

3-2 مثال

یک مسئله VRP با یک DEPO و سه گره (مشتری) و دو وسیله نقلیه در نظر بگیرید.

K تعداد وسایل نقلیه

q تقاضای هر گره (مشتریان)

Q ظرفیت وسیله نقلیه

جدول 1 حدکثر ظرفیت وسایل نقلیه بین هر مسیر

k	1	2
C01	2	3
C02	2	2
C03	3	3
C12	1	4
C13	3	2
C23	3	2

جدول 2 تقاضا

	1	2	3
q	5	9	4

جدول3 ظرفیت وسایل نقلیه

	1	2
Q	16	6

3-3 مدلسازی مسئله

MP

$$\begin{aligned} Min \quad z = {} & 2x_{01}^1 + 3x_{01}^2 + 2x_{02}^1 + 2x_{02}^2 + 3x_{03}^1 + 3x_{03}^2 \\ & + 2x_{10}^1 + 3x_{10}^2 + 1x_{12}^1 + 4x_{12}^2 + 3x_{13}^1 + 2x_{13}^2 \\ & + 1x_{20}^1 + 2x_{20}^2 + 4x_{21}^1 + 4x_{21}^2 + 3x_{23}^1 + 2x_{23}^2 \\ & + 1x_{30}^1 + 1x_{30}^2 + 3x_{31}^1 + 1x_{31}^2 + 3x_{32}^1 + 2x_{32}^2 \end{aligned}$$

Subject to

$$x_{01}^1 + x_{01}^2 + x_{02}^1 + x_{02}^2 + x_{03}^1 + x_{03}^2 = 1$$
$$x_{10}^1 + x_{10}^2 + x_{12}^1 + x_{12}^2 + x_{13}^1 + x_{13}^2 = 1$$
$$x_{20}^1 + x_{20}^2 + x_{21}^1 + x_{21}^2 + x_{23}^1 + x_{23}^2 = 1$$
$$x_{30}^1 + x_{30}^2 + x_{31}^1 + x_{31}^2 + x_{32}^1 + x_{32}^2 = 1$$
$$x_{10}^1 + x_{10}^2 + x_{20}^1 + x_{20}^2 + x_{30}^1 + x_{30}^2 = 1$$
$$5x_{01}^1 + 9x_{02}^1 + 4x_{03}^1 + 9x_{12}^1 + 4x_{13}^1 + 5x_{21}^1 + 4x_{23}^1 + 5x_{31}^1 + 9x_{32}^1 \le 16$$
$$5x_{01}^2 + 9x_{02}^2 + 4x_{03}^2 + 9x_{12}^2 + 4x_{13}^2 + 5x_{21}^2 + 4x_{23}^2 + 5x_{31}^2 + 9x_{32}^2 \le 6$$
$$x_{ij}^k \in \{1,0\} x_{ij}^k = integer$$

4-3 مسئله RMP

RMP

$$Min \quad z = 2x_{01}^1 + 3x_{01}^2$$

Subject to

$$x_{01}^1 + x_{01}^2 = 1$$
$$x_{01}^1 \le 16$$
$$x_{01}^2 \le 6$$

$$\boldsymbol{x_{ij}^k \ge 0}$$

مسئله را با روش سیمپلکس حل کرده و متغیرهای ورودی و خروجی را تعیین کرده$\boldsymbol{z_{sub}}$ سایر متغیرهای باقیمانده را محاسبه میکنیم و متغیری با کمترین مقدار $\boldsymbol{0} > \boldsymbol{z_{sub}}$را یافته و وارد پایه می‌کنیم و بدین ترتیب جدول جدید را بهینه کرده و مجددا تا زمانیکه همه $\boldsymbol{z_{sub}} \ge \boldsymbol{0}$ شوداین روند ادامه می یابد.

4- نتیجه گیری

به طور معمول نمی توان اطمینان حاصل کرد که مجموعه ای محدود از دوره ها شامل یک زیر مسئله و یک راه حل بهینه است، بنابراین رویکرد کلی از روش ابتکاری است. با این وجود، تجربه نشان داده است که ممکن است با ارائه راه حل های خوب برای مجموعه ای از پارتیشن‌بندی‌ها به طور موثر برای تعداد زیادی از دوره ها بتوان مسئله را حل نمود.

5- منابع

[1] رضا توکلی مقدم مهدی علینقیان، علیرضا سلامت بخش، ارایه و حل مدل برنامه ریزیریاضی جدید برای مسیریابی وسائط نقلیه در حالت رقابتی (1388)

[2] BOOK-_Wolsey_Integer_Programming

[3]Allahviranloo, M., Chow, J. Y., & Recker, W. W. (2014). Selective vehicle routing problems under uncertainty without recourse. Transportation Research Part E Logistics and Transportation Review, 62, 68
[4]Brito, J., Martínez, F. J., Moreno, J. A., & Verdegay, J. L. (2015). An ACO hybrid metaheuristic for close–open vehicle routing
problems with time windows and fuzzy constraints. Applied Soft Computing, 32, 154-163
[5]PhD thesis,Simon Spoorendonk. Cut and Column Generation
[6]Sohaib Lafifi. Vehicle Routing Problems with Resources Synchronization. Operations Universit´e de Technologie de Compi`egne, 2015. English. <tel-01302047> ،Research