(یادداشت پژوهشی)

مسیریابی وسایط نقلیه و تعیین تعداد ماشین‌های جمع‌آوری زباله با استفاده از یک روش فرا ابتکاری - یک مطالعه موردی

ایرج مهدوی*، دانشیار، دانشکده مهندسی صنایع، دانشگاه علوم و فنون مازندران، بابل، ایران
رضا توکلی‌مقدم، استاد، گروه مهندسی صنایع، پردیس دانشکده‌های فنی، دانشگاه تهران، تهران، ایران
سید مصطفی قاضی‌زاده هاشمی، کارشناس ارشد، دانشکده مهندسی صنایع، دانشگاه علوم و فنون مازندران، بابل، ایران
E-mail: irajarash@rediffmail.com
دریافت: ۱۳۸۸/۰۲/۰۲ - پذیرش: ۱۳۸۸/۰۹/۰۳

چکیده

در این مقاله، یک مدل برنامه‌ریزی خطی - عدد صحیح از مسأله مسیریابی وسایط نقلیه حمل برگشتی با پنجره زمانی و ظرفیت[1] (CVRPBTW) ارایه می‌شود. در این مدل یک ناوگان ثابت غیر یکنواخت با تعداد ثابتی از هر نوع ماشین با هزینه و ظرفیت‌های متفاوت برای هر یک در اختیار قرار دارد. هدف کلی کمینه کردن هزینه ناوگان، کل مسافت سفرها و یا مدت زمان آن است. مدل پیشنهادی قادر است مسیرهایی با حداقل تعداد وسیله نقلیه، حداقل ظرفیت بیکار و حداقل زمان بکارگیری آنها، برای سرویس‌دهی به کل مشتریان (گره‌ها) ایجاد کند. برای حل مدل ارائه شده، یک الگوریتم فراابتکاری مبتنی بر بازپخت شبیه‌سازی شده[2] (HSA) پیشنهاد می‌شود که جواب‌های خوبی در مدت زمان مناسب ایجاد می‌کند. تعدادی از مسائل آزمایشی در ابعاد کوچک و بزرگ حل و سپس نتایج محاسباتی آن ارائه می‌شود. در خاتمه عملکرد الگوریتم پیشنهادی در صنعت جمع‌آوری پسماند و زباله در یک ناحیه پایلوت از شهر تهران مورد بررسی قرار می‌گیرد.

واژه‌های کلیدی: مسأله مسیریابی وسیله نقلیه، حمل برگشتی، پنجره زمانی، مدیریت پسماند، بازپخت شبیه‌سازی شده

۱. مقدمه

نیاز به تغییر و تحول از عمده ترین نیازهای فطری انسان است و در طول تاریخ همراه با رشد فکری و فرهنگی و ارتقای سطح علمی و اجتماعی بشری، این نیاز به تغییر و تحول نیز افزایش می‌یافت و تمدن امروز جهان مدیون و مرهون این احساس نیاز انسان به تغییرات است و همین گرایش طبیعی انسان به تغییر و تکامل منشاء تحولات اجتماعی، فرهنگی و سیاسی و غیره می‌شود. و چه بسا این گرایش خود را در عرصه‌های خدماتی و عمومی همچون شهرداری‌ها و موضوعی چون مدیریت پسماند[3] [Sahoo (et.al), 2005] نشان دهد. با توجه به اجتناب ناپذیر بودن تولید زباله یا ضایعات توسط انسان در هر زمان، توجه به کنترل و ساماندهی آن وظیفه‌ای ملی و با اهمیت است. در این خصوص باید در وهله اول به چگونگی جمع‌آوری حجم عظیم و پراکنده زباله و در مرحله بعد به مسأله بازیافت آن توجه کرد. بنابراین برنامه‌ریزی صحیح جهت بکارگیری اصولی منابع، می‌تواند از ایجاد هزینه‌های اضافی جلوگیری کند و موجب افزایش اثربخشی و نهایتاً بهره‌وری مدیریت پسماند شود. حال با توجه به اینکه شهرداری تهران برای هر ناحیه و با توجه به تحلیل آن نسبت به عقد قرارداد با پیمانکار مکانیزه اقدام می‌کند، لزوم بازنگری در آنالیز امکانات و ماشین‌های مکانیزه آن ناحیه، احساس می‌شود. این مقاله توسعه مدل ریاضی پژوهش انجام گرفته توسط قاضی زاده هاشمی است [قاضی‌زاده هاشمی، ۱۳۸۷].

*نویسنده مسئول

Archive of SID
www.SID.ir

۲. شرح مسأله تحقیق

۲-۱ مقدمه ای بر مسأله مسیریابی وسیله نقلیه با پنجره زمانی و ظرفیت (CVRPTW)

مسأله CVRPTW [Confessore, Galiano, and Stecca- 2008] نوعی از مسائل VRP است که متفاوت با نوع کلاسیک مسأله مسیریابی [سپهری، حسینی مطلق-۱۳۸۷] است. مسأله CVRPTW یکی از مسائل مشهور و سخت NP-hard است که به نوعی زیر مجموعه‌ای از مسائل CVRP به حساب می‌آیند. مسائل CVRP شامل پیدا کردن مجموعه‌ای از سفرها با کمترین هزینه که از یک ایستگاه متداول شروع شده و به آن ایستگاه ختم خواهد شد، در حالی‌که هر گره مربوط به یک سفر است و مجموع تقاضاهای مشتریان ملاقات شده در هر سفر نباید از ظرفیت ماشین تجاوز کند و در نتیجه هزینه مسیرها بستگی به نوع و ظرفیت وسایل نقلیه در دسترس دارد، که می‌تواند وابسته و یا مستقل از طول مسیر باشد [Tavakkoli-Moghaddam, Safaei, and Gholipour, 2006]. هدف کلی در این گونه مسائل، پیدا کردن کمترین تعداد سفر با توجه به هزینه ناوگان است و هدف ثانویه اغلب پیدا کردن کوتاه‌ترین مسیر طی شده برای کل سفرها و یا کوتاه‌ترین زمان سفر است. در مسائل CVRPTW، سرویس برای هر مشتری باید در بازه زمانی مشخص شده صورت گیرد.

۲-۲ مسأله مسیریابی ماشین‌های جمع‌آوری مخازن زباله و تعیین تعداد ماشین آلات

با شناخت دقیق این مسأله می‌توان به جایگاه آن در مجموعه مسائل VRP پی برد. مخازن زباله می‌بایست طی یک زمان خاص (یک بازه زمانی معین سخت گیرانه) توسط ماشین با ظرفیت‌های متنوع، تخلیه شوند. یعنی ماشین‌ها موظف اند در زمان مجاز به مخازن تخلیه مراجعه کنند، در نتیجه زمان سرویس برای ناوگان محدود بوده و همچنین ناوگان غیر یکنواخت[٤] است. یعنی ما یک ناوگان ثابت غیر یکنواخت با تعداد ثابتی از هر نوع ماشین، با هزینه و ظرفیت‌های متفاوت برای هر یک خواهیم داشت. از این رو با نوعی از مسائل CVRPTW رو به رو هستیم. هر یک از ماشین های مستقر در ناوگان موظف هستند از یک ایستگاه ابتدایی شروع به حرکت کرده و به خدمت رسانی به مشتریان (مخازن) در طول مسیر حرکت بپردازند و پس از به حداکثر رسیدن ظرفیت خود به ایستگاه ابتدایی برگردند. این مسأله CVRPTW، حالت‌های خاص حذف ظرفیت ماشین از مسأله VRP مانند (VRPTW و TRP و TSP و MTSP و...) وحذف محدودیت زمان (CVRP) را نیز پوشش می‌دهد.

مسأله می‌تواند به صورت زیر تعریف شود: فرض می‌کنیم که $G(D,A)$ یک گراف کامل است که $D\{=1,2,\ldots,I,\ldots,N\}$ مجموعه گره است و $A = \{(i, j) \mid i, j \in D, i \neq j\}$ مجموعه کمان‌ها است. گره شماره ۱، معرف ایستگاه است.

۲-۲-۱ فرضیات مسئله

در این تحقیق فرضیات نداریم، ولی اهم مفروضات مساله به شرح زیر است:

۱.زمان در دسترس محدود است (زمان سفر برای هر وسیله نقلیه نباید از زمان کل دردسترس تجاوز کند). ۲. تعداد مخازن هر پست- ناحیه- منطقه(تعداد گره در شبکه راه) موجود و ظرفیت هر یک مشخص است. ۳. میانگین زمان سرویس برای هر گره (مشتری) مشخص است. ٤. ظرفیت هر نوع از وسایل نقلیه مشخص و ثابت است و هزینه برای هر نوع مقداری ثابت است. ٥. مسیر های مجاز (زیر مجموعه ای از مسیر های شبکه راه‌ها) موجود است. ٦. تعداد ماشین های در دسترس مشخص است. ۷. فواصل گره‌ها و محل تخلیه زباله (ایستگاه) مشخص است. ۸. هر گره فقط توسط یک ماشین سرویس دهی می شود. ۹. هر ماشین شروع و پایان مسیرش از یک ایستگاه است. ۱۰. مجموع تقاضا برای هر ماشین نباید از ظرفیتش تجاوز کند. ۱۱. سرعت برای وسایل نقلیه مقداری ثابت است. ۱۲. هزینه هر واحد زمانی کارکرد (اجازه) از هر نوع ماشین مشخص است. ۱۳. میانگین زمان جهت تخلیه در ایستگاه و حداکثر کردن ظرفیت خالی جهت سرویس مجدد ،مشخص است. ١٤. ناوگان غیر یکنواخت بوده و ۳ نوع ماشین کوچک (سبک) و بزرگ (سنگین) و متوسط (نیمه سنگین) در ناوگان مستقر هستند که هزینه برای هر نوع ثابت است. ۱۵. در طول زمان در دسترس، کلیه مخازن باید تخلیه شوند.

۲-۲-۲ مدل نمادین، پارامترها و متغیرهای تصمیم گیری مسئله

پارامترهای مدل مسئله به صورت زیر است:

N : تعداد گره و V : تعداد ماشین های دردسترس

Archive of SID
www.SID.ir

C_v : ظرفیت ماشین v و J_v : هزینه هر واحد ظرفیت ماشین v

L_{ij} : طول کمان (i,j) و $i>1$ $L_{ii}=\infty$ و $L_{11}=0$

a : سرعت متوسط ماشین و λ : زمان متوسط برای سرویس در هر مخزن(گره)

d_i : ظرفیت مخزن (گره) i و $d_1=0$

P_v : هزینه هر واحد زمانی کارکرد (اجاره) از هر نوع ماشین v

S: زیرمجموعه اختیاری از V و $r(s)$: حداقل تعداد ماشین های مورد نیاز برای مجموعهS

۲-۲-۳ متغیرهای تصمیم مدل به شرح زیر است:

x_{ij}^v =۱ در صورتی که کمان $(i,j)\in A$، به وسیله ماشین v طی شود و در غیر این صورت برابر با صفر است.

Z_v : تعداد سفر (سرویس) ماشینv $z_v \geq 0$

۲-۲-٤ مدل مسئله

$$MinC(x)$$

$$C(x)=\sum_{v=1}^{V}J_vZ_vC_v+\sum_{v=1}^{V}J_v(Z_vC_v-\sum_{j=1}^{N}\sum_{i=2}^{N}d_ix_{ij})+\sum_{v=1}^{V}P_v(\sum_{i=1}^{N}\sum_{j=2}^{N}x_{ij}^v(\frac{L_{ij}}{a}+\lambda)+(Z_v.g)+\sum_{i=1}^{N}x_{i1}^v(\frac{L_{ij}}{a}))$$

s.t.

$$\sum_{i=2}^{N}x_{i1}^v=Z_v \qquad \forall_v \qquad (۱)$$

$$\sum_{i=2}^{N}x_{1j}^v=Z_v \qquad \forall_v \qquad (۲)$$

$$\sum_{i=1}^{N}\sum_{v=1}^{V}x_{ij}^v=1 \qquad \forall j>1 \qquad i\neq j \qquad (۳)$$

$$\sum_{j=1}^{N}\sum_{v=1}^{V}x_{ij}^v=1 \qquad \forall i>1 \qquad i\neq j \qquad (٤)$$

$$\sum_{i=1}^{N}X_{ij}^v=\sum_{k=1}^{V}x_{jk}^v \qquad \forall j>1,v \qquad (٥)$$

$$\sum_{i=1}^{N}d_i(\sum_{j=1}^{N}x_{ij}^v)\leq Z_vC_v \qquad \forall_v \qquad (٦)$$

$$\sum_{i=1}^{N}\sum_{j=2}^{N}x_{ij}^v\left[\frac{L_{ij}}{a}+\lambda\right]+(Z_v-1)g+\sum_{i=1}^{N}x_{i1}^v(\frac{L_{i1}}{a})\leq y \qquad (۷)$$

$$\begin{cases}Z_v=0 & if \quad x_{11}^v=1 \quad \forall_v\\ Z_v\geq 1 & if \quad x_{11}^v=0 \quad \forall_v\end{cases} \qquad (۸)$$

$$Z_v\geq x_{ij}^v \qquad \forall v,i>1,j \qquad (۹)$$

$$\sum_{v=1}^{V}\sum_{i=1}^{N}\sum_{j=1}^{N}x_{ij}^v\geq r(s) \qquad \forall s\subseteq V-\{0\},s\neq\phi \qquad (۱۰)$$

$$x_{ij}^v=0 \qquad \forall i>1,v \qquad (۱۱)$$

$$x_{ij}^v\in\{0,1\} \qquad \forall v,i,j \quad و \quad Z_v\geq 0 \qquad (۱۲)$$

Archive of SID

www.SID.ir

تابع هدف از ۳ قسمت تشکیل شده است. ۲ بخش آن مربوط به هزینه ناوگان[5] حمل، یعنی کمترین تعداد ماشین مورد نیاز برای سرویس‌دهی به کل گره‌ها و حداکثر کردن ظرفیت ناوگان و بخش آخر هزینه زمان کارکرد آنها است. محدودیت های (۱) و (۲) بیانگر این مطلب هستند که نقطه شروع و پایان هر مسیر در هر سرویس برای ماشین v، ایستگاه (گره شماره یک) است. محدودیت های (۳) – (۵) نشانگر این است که تنها یک ماشین حق ورود و خروج به یک گره و خدمت رسانی به آن را داراست. محدودیت ٦ این اطمینان را حاصل می‌کند که ظرفیت ماشین از حداکثر مجاز خود تجاوز نکند. محدودیت ۷ کنترل کننده زمان سرویس است که از حداکثر زمان در دسترس تجاوز نکند. (با توجه به زمان سرویس در هر گره ، سرعت ماشین آلات و زمان سرویس در گره شماره ۱ (ایستگاه). محدودیت های (۸) و (۹) تعیین می‌کند که از ماشین‌های در دسترس از کدام یک استفاده شده و کدام یک بی‌استفاده‌اند. محدودیت‌های (۱۰) و (۱۱) تضمین کننده حذف تور فرعی است. و محدودیت ۱۲ نیز نشان دهنده این است که x_{ij}^{v} متغیر صفر و یک و z_v نیز متغیر عدد صحیح است.

۳. روش حل پیشنهادی

۳-۱ الگوریتم تولید حل اولیه ۱

۱- $S = n - \{1\}$

۲- انتخاب کن گره i را به صورت نزدیک ترین گره به ایستگاه به طوری که $i \in s$

۳- تخصیص بده ماشین $V_\circ$ را به گره i به شرطی که $C_{v_\circ} = C_{\max}$ و $V_\circ \in V$

٤- $x_{1i}^{v_\circ} = 1$ و $Z_{v_\circ} = 1 + Z_{v_\circ}$ و $S = S - \{i\}$

۵- تا زمانی که محدودیت‌های ٦ و ۷ (زمان و ظرفیت) برقرار است و $S \neq \phi$ مراحل زیر را تکرار کن.

۵-۱- انتخاب کن گره j را که نزدیک‌ترین گره به گره i است که $j \in S$

۵-۲- $x_{ij}^{v} = 1$

۵-۳- $S = S - \{j\}$

۵-٤- $i = j$

٦- $x_{j1}^{v_\circ} = 1$

۷- اگر محدودیت زمان (محدودیت ۷) که در آن به جای $(Z_V - 1).g$ از عبارت $(Z_V).g$ استفاده می‌کنیم، برقرار نبود ، آنگاه $V = V - \{V_\circ\}$

۸- اگر $S \neq \phi$ آنگاه مراجعه شود به بند ۲ و در غیر این صورت جواب تولید شده ، برابر حل اولیه است. $X^\circ = X_{ij}^{v_\circ}$

۳-۲ پیاده‌سازی الگوریتم پیشنهادی SA

یکی از الگوریتم‌های فرا –ابتکاری، الگوریتم باز پخت شبیه‌سازی شده (SA) [Chiang, Russell-1996] بوده که علت انتخاب الگوریتم مذکور بازدهی زیاد و حل مسائل شبیه به مسئله ما، با آن است که راهکار صریحی جهت فرار از بهینه موضعی داشته است. روش SA دارای دو حلقه درونی و بیرونی است، حلقه درونی یا داخلی، مربوط به دستیابی به تعادل و یک حل بهینه در دمای جاری و حلقه بیرونی یا خارجی مربوط به نرخ کاهش دما و کنترل کننده دما است. پارامترهای SA به شرح زیر است:

EL: تعداد حل پذیرفته شده در هر دما برای رسیدن به تعادل[6] و

MTT: حداکثر تعداد دمای متوالی برای حلقه خارجی[7]

$T_\circ$: دمای اولیه ، α: نرخ کاهش دما ، X : حل شدنی و $C(x)$: ارزش تابع هدف برای X

N : شمارنده تعداد حل پذیرفته شده در هر دما (حلقه داخلی) و r : شمارنده تعداد دمای متوالی (حلقه خارجی) (T_r : دما در تکرار r ام).

روش‌های تولید حل اولیه، برای مسائل با سایز کوچک مناسب هستند ولی با افزایش سایز مسئله، سازوکار SA به وسیله اپراتورهای خود می‌تواند بهبود دهنده الگوریتم تولید حل اولیه باشد. مراحل پیاده‌سازی الگوریتم SA به شرح زیر است:

۱- $X^{best} = \phi$ و $r = 0$

۲- به کمک روش تولید حل اولیه X° را تولید کن

۳- $X^{best} = X^\circ$

٤- تا زمانی که $r < MTT$ و $T_r > \circ$ مراحل زیر را تکرار کن

۵- $n = 0$

٦- تا زمانی که $n < EL$ مراحل زیر را تکرار کن

٦-۱- یکی از اپراتورهای 1opt و 2opt را به صورت تصادفی انتخاب کن و به کمک اپراتور انتخاب شده، حل جدید تولید کن

$$X^n \xrightarrow{\text{اپراتور}} X^{new}$$

٦-۲- $\Delta C = C(X^{new}) - C(X^{best})$

Archive of SID
www.SID.ir

۶-۳- اگر $\Delta C < 0$ بود آنگاه $X^n = X^{new}$ و $n = n+1$ و $X^{best} = X^{new}$ در غیر این صورت : $y \to U(0,1)$

۶-۴- $Z = e^{\frac{-\Delta C}{Tr}}$

۶-۵- اگر $y < z$ آنگاه $n = n+1$ و $X^n = X^{new}$

۷- $r = r+1$

۸- $T_r = T_{r-1} - \alpha.T_{r-1}$

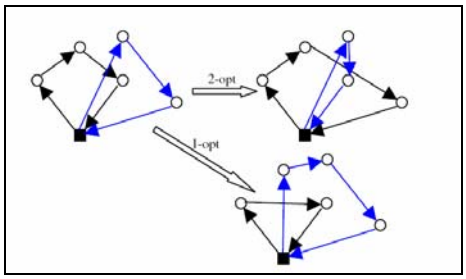
۹- چاپ کن X^{best}

۳-۳ روش‌هایی جهت تولید حل همسایگی

دو اپراتور مؤثر زیر برای جستجو در فضای شدنی بکار می‌رود [Tavakkoli-Moghaddam, Safaei, and Gholipour, 2006].

۳-۳-۱ اپراتور 2-opt: در این اپراتور، دو مسیر جداگانه (دو سرویس) که ممکن است از یک یا دو ماشین متفاوت باشد به صورت تصادفی انتخاب شده و دو گره از آنها با هم به طور متقابل جابجا می‌شوند، به طوری که محدودیت‌های زمان در دسترس و ظرفیت ماشین نقض نشود.

۳-۳-۲ اپراتور 1-opt: در این نوع اپراتور، دو مسیر جداگانه (دو سرویس) که ممکن است از یک یا دو ماشین متفاوت باشد به صورت تصادفی انتخاب شده و یک گره از یک مسیر حذف و به مسیر دیگر اضافه می‌شود به طوری که محدودیت‌های زمان در دسترس و ظرفیت ماشین نقض نشود (شکل ۱).



شکل ۱. اپراتورهای 1-opt و 2-opt
[Tavakkoli-Moghaddam, Safaei, and Gholipour-2006]

٤. نتایج محاسباتی

٤-۱ تصدیق مدل

برای معتبر ساختن مدل، نیاز به حل مدل و به دست آوردن جواب بهینه بوده و سپس به مقایسه آن با جواب به دست آمده از الگوریتم فرا ابتکاری انجام می‌شود، در نتیجه ۱۰ مسئله در ابعاد کوچک به وسیله نرم افزار لینگو حل شدند. برای کاهش پیچیدگی، پارامترهای پیش فرض در نظر گرفته شدند. سه نوع ماشین با سه ظرفیت متفاوت بزرگ، متوسط و کوچک در ناوگان مستقر هستند. زمان حل با توجه به مشخصات سیستم کامپیوتری *Intel Celeron 2.8 GHz* به دست آمده است. مسائل حل شده در ابعاد کوچک در جدول ۱ آورده شده و نشان می‌دهد که الگوریتم‌های تولید حل اولیه برای مسائل با ابعاد کوچک، جواب بهینه تولید می‌کند. با کاهش مقدار پارامتر زمان در دسترس، زمان حل افزایش پیدا می‌کند. ستون k به تعداد ماشین مورد استفاده اشاره کرده و ستون z تعداد سرویس هر کدام از آنها را نشان می‌دهد. همچنین مقدار هر کدام از سه قسمت تابع هدف برای مسائل حل شده، گزارش شده است.

٤-۲ نتایج الگوریتم SA

حل مسئله از این طریق، تنها در ابعاد کوچک قابل قیاس و کنترل با حل بهینه است، ولی در ابعاد بزرگ حل آن بسیار سخت بوده و نمی توان در زمان قابل قبولی به حل بهینه رسید، و یا رسیدن به آن غیر ممکن است. در نتیجه برای تصدیق حل به دست آمده میبایست به مقایسه حل SA با کران پایین حل [۸] پرداخت. کران پایین حل (LB) از حذف محدودیت زمان از مدل به دست آمده است. یعنی ما، کل گره ها را با حداکثر بهره برداری از ظرفیت، بدون محدود کردن زمان سرویس پوشش می‌دهیم. پارامترهای SA به این شرح است و اعداد و ارقام با توجه به حل مسائل‌مشابه در ادبیات موضوع و به صورت تجربی به دست آمده است [Tavakkoli-Moghaddam, Safaei, and Gholipour, 2006] $T_0 = 5^\circ, EL = 100, MTT = 100, \alpha = 0.95$

ماتریس فواصل گره‌ها [۹] به صورت تصادفی و یکنواخت در بازه [۱ و ۰] کیلومتر انتخاب شده و میزان سرعت متوسط a=۰/۵km/min لحاظ می‌شود. میزان ظرفیت هر یک از گره‌ها نیز به صورت یکنواخت در بازه [۰/۶ و ۰/۲] واحد زباله لحاظ شده و سایر پارامترها مشابه مسائل ابعاد کوچک است. زمان پردازش در حل فرا ابتکاری مسائل با ابعاد بزرگ در درجه اول به پارامتر تعداد گره (N) و سپس به زمان در دسترس (y) بستگی دارد. با افزایش تعداد گره و یا کاهش زمان سرویس، زمان پردازش افزایش می‌یابد. همچنین میانگین تفاوت بین کران پایین و حل SA در حدود ۱۱ درصد و بسیار رضایتبخش است. نتایج در جدول ۲ قابل مشاهده است.

Archive of SID
www.SID.ir

جدول ۱. نتایج حل مسائل با ابعاد کوچک

No	N	V	k	z	y	حل بهینه					الگوریتمهای تولید حل اولیه	
						OFV	Term 1	Term 2	Term 3	CPU time	الگوریتم تولید حل اولیه	CPU time (Sec.)
۱	۵	۲	۲	$\begin{cases} z_1 = 1 \\ z_2 = 1 \end{cases}$	۲۰	۶۱۲۹۳	۶۰	۱۵	۶۱۲۱۸	۱	(۳)۱	<۰/۵
۲	۵	۳	۲	$\begin{cases} z_1 = 1 \\ z_3 = 1 \end{cases}$	۲۰	۵۸۳۸۰	۵۳	۰	۵۸۳۲۷	۱	۵	<۰/۵
۳	۵	۲	۱	$z_2 = 2$	۳۰	۶۱۱۸۴	۶۰	۰	۶۱۱۲۴	۱	۲	<۰/۵
۴	۶	۳	۲	$\begin{cases} z_1 = 1 \\ z_2 = 1 \end{cases}$	۲۰	۶۵۴۲۳	۶۰	۰	۶۵۳۶۳	۵	(۴)۲	<۰/۵
۵	۶	۳	۲	$\begin{cases} z_1 = 1 \\ z_2 = 1 \end{cases}$	۳۰	۶۵۴۲۳	۶۰	۰	۶۵۳۶۳	۳	۴	<۰/۵
۶	۶	۱	۱	$z_1 = 2$	۳۰	۶۵۷۷۳	۶۰	۱۰	۶۵۷۰۳	۲	(۲)۱	<۰/۵
۷	۷	۳	۳	$\begin{cases} z_1 = 1 \\ z_2 = 1 \\ z_3 = 1 \end{cases}$	۳۰	۸۹۴۰۶	۸۳	۰	۸۹۳۲۳	۱۰	۲	<۰/۵
۸	۷	۳	۱	$z_1 = 2$	۴۰	۷۰۱۶۳	۶۰	۰	۷۰۱۰۳	۱	۱	<۰/۵
۹	۷	۲	۲	$\begin{cases} z_1 = 1 \\ z_2 = 2 \end{cases}$	۳۰	۹۲۸۵۱	۹	۱۰	۹۲۷۵۱	۸	۲	<۰/۵
۱۰	۷	۱	۱	$z_1 = 2$	۴۰	۷۰۱۶۳	۶۰	۰	۷۰۱۰۳	۱	(۲)۱	<۰/۵

جدول ۲. نتایج حل SA و مقایسه با LB

No	N	V	k	y	GAP(%)	LB	SA	
							OFV	CPU time (Sec.)
۱	۲۰	۶	۱	۱۲۰	%۰	۸/۹۱۴۶ × ۱۰^۶	۸/۹۱۴۶ × ۱۰^۶	۳۵/۷
۲	۲۰	۶	۲	۱۰۰	%۸	۸/۹۱۴۶ × ۱۰^۶	۹/۶۹۹۴ × ۱۰^۶	۵۵/۷
۳	۳۰	۹	۲	۱۲۰	%۱۶	۱/۱۵۷۴ × ۱۰^۷	۱/۳۹۲۶ × ۱۰^۷	۱۴۱/۲
۴	۳۰	۹	۳	۱۰۰	%۱۹	۱/۱۵۷۴ × ۱۰^۷	۱/۴۳۹۵ × ۱۰^۷	۱۵۲
۵	۴۰	۱۰	۴	۱۲۰	%۱۰	۱/۶۱۸۷ × ۱۰^۷	۱/۸۱۰۷ × ۱۰^۷	۷۱۷/۳
۶	۴۰	۱۰	۶	۱۰۰	%۱۷	۱/۶۱۸۷ × ۱۰^۷	۱/۹۵۲۵ × ۱۰^۷	۹۲۳/۶
۷	۱۰۰	۲۰	۹	۱۲۰	%۹	۲/۱۰۱۰ × ۱۰^۸	۲/۲۷۹۰ × ۱۰^۸	۷۰۴۸

جدول ۳. نتایج حل مطالعه موردی

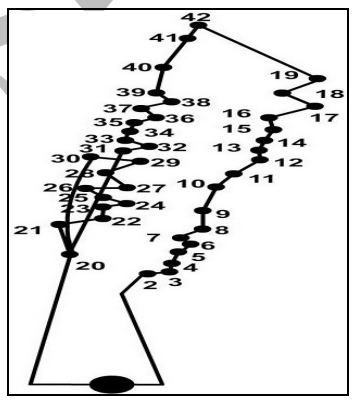
No	N	V	K	z	OFV-SA	زمان ماشین۱ (Sec.)	زمان ماشین۲ (Sec.)	زمان ماشین۳ (Sec.)	CPU time (Sec.)
۱	۴۲	۳ (CV_1, CV_3, CV_3)	۲	$\begin{cases} z_1 = 1 \\ z_2 = 1 \end{cases}$	۴/۳۳۳ × ۱۰^۵	۱۱۷/۱۲	۶۳/۳۴	۰	۱۳۸
۲	۴۲	۳ (CV_1, CV_2, CV_3)	۲	$\begin{cases} z_1 = 1 \\ z_3 = 1 \end{cases}$	۴/۳۳۳ × ۱۰^۵	۱۱۷/۱۲	۰	۶۳/۳۴	۱۳۸/۸
۳	۴۲	۳ (CV_1, CV_1, CV_1)	۱	$z_1 = 2$	۶/۰۵۶ × ۱۰^۵	۱۸۰/۴۷	۰	۰	۱۰۰

Archive of SID
www.SID.ir

همان طور که مشاهده می‌شود با کاهش زمان در دسترس میزان تابع هدف بدتر می‌شود (افزایش می‌یابد) و تعداد ماشین‌های مورد استفاده افزایش پیدا می‌کند، ولی به دلیل وجود ماشین با ظرفیت و هزینه‌های متفاوت، از ترکیبی از ماشین‌ها که کمترین افزایش هزینه را بر مدل وارد نماید استفاده می‌کنیم. با افزایش زمان در دسترس، تعداد ماشین استفاده شده کاهش و تعداد سرویس(سفر) آنها افزایش می‌یابد.

٤-٣ نتایج مطالعه موردی

نتایج حل به دست آمده الگوریتم فرا ابتکاری برای یک ناحیه پایلوت از شهر تهران در جدول ۳ ارایه شده است. نتایج نشان می‌دهند که با مسیر دهی درست به ماشین‌ها می‌توان از حداقل ماشین‌های در دسترس استفاده کرد و شاهد کاهش هزینه فاحشی بود.



شکل ۲. خروجی مسئله مطالعه موردی- مسیر حرکت ماشین آلات

۵. نتیجه‌گیری و پیشنهادها جهت تحقیقات آتی

نتایج نشان می‌دهد که الگوریتم های ابتکاری پیشنهادی تولید حل اولیه، برای مسأله با ابعاد کوچک بسیار کارا هستند و جواب بهینه تولید می‌کنند. ولی برای مسأله با ابعاد بزرگ تر نیاز به یک الگوریتم فرا ابتکاری احساس می‌شود. و الگوریتم (SA)، که کارایی خود را در این گونه مسائل نشان داده است استفاده شد. زمان حل نسبت به پارامترهای زمان در دسترس (y) و تعداد گره (N)، حساس است. مسیریابی با در نظر گرفتن بیش از یک تسهیل و همچنین مکان یابی تسهیلات (ایستگاههای سرویس)در کنار سایر روشهای فرا ابتکاری از قبیل جستجوی ممنوع (TS)، الگوریتم ژنتیک (GA)، الگوریتم ممتیک (MA)، الگوریتم بهینه‌سازی مورچگان (ACO) و غیره برای تحقیقات آینده پیشنهاد می‌شوند.

٦. پانویس‌ها

1.Capacitated Vehicle Routing Problem with Backhauls and Time Window
2. Hybrid Simulated Annealing
3. Waste Management
4. Heterogeneous
5. Fleet Cost
6. Epoch Length
7. Maximum Number of Consecutive Temperature Trails
8. Lower Bound Solution
9. Origin Destination (OD)

۷. مراجع

الف. فارسی

- سپهری، محمد مهدی و حسینی مطلق، سید مهدی (۱۳۸۷) "مسیریابی بهینه سیستمهای حمل و نقل در انبار های اتوماتیک"، پژوهشنامه حمل و نقل، شماره ۲، تابستان ۱۳۸۷، ص. ۱۲۷-۱۳۸.

- قاضی زاده هاشمی، سید مصطفی (۱۳۸۷) "مسیریابی وسائط نقلیه و تعیین تعداد ماشین آلات جمع آوری زباله با استفاده از یک روش فرا ابتکاری - یک مطالعه موردی"، پایان‌نامه مقطع کارشناسی ارشد مهندسی صنایع، دانشگاه علوم و فنون مازندران، بهمن ۱۳۸۷.

ب. غیر فارسی

- Chiang, W.C. and Russell, R. (1996) "Simulated annealing meta -heuristics for the vehicle routing problem with time windows", Ann. Operational Research, Vol. 93, pp. 3-27.

- Confessore, G., Galiano, G. and Stecca, G. (2008) "An evolutionary algorithm for vehicle routing problem with real life constraints", The 41st CIRP Conference on Manufacturing Systems, May 26-28, Tokyo, Japan.

- Sahoo, S., Kim, S. Kim, B-I., Kraas, B. and Popov-Jr, A. (2005) "Routing optimization for waste management", Interfaces, Vol. 35, No. 1, pp. 24-36.

- Tavakkoli-Moghaddam, R., Safaei, N. and Gholipour, Y. (2006) "A hybrid simulated annealing for capacitated vehicle routing problems with the independent route length", Appl. Mathematics and Computation, Vol. 176, pp. 445-454.

Archive of SID

www.SID.ir