

حل مساله مسیریابی وسایط نقلیه با در نظر گرفتن رضایت‌مندی مشتریان و کاهش انرژی مصرفی با

الگوریتم زنبور عسل

فرهاد صالحیان، دانشجوی دکتری مهندسی صنایع، پردیس البرز، دانشگاه تهران، تهران

رضا توکلی مقدم (مسئول مکاتبات)، استاد، دانشکده مهندسی صنایع، پردیس دانشکده‌های فنی، دانشگاه تهران، تهران

نرگس نوروزی، دکتری مهندسی صنایع، پردیس دانشکده‌های فنی، دانشگاه تهران، تهران

E-mail: tavakoli@ut.ac.ir

چکیده

این مقاله به ارائه مدل مساله مسیریابی وسایط نقلیه به منظور افزایش رضایت‌مندی مشتریان، کاهش مصرف انرژی و سوخت و کاهش هزینه‌های توزیع می‌پردازد. آمارها حاکی از آن است که هزینه‌ی سوخت بخش قابل توجهی از هزینه‌ی حمل و نقل را شامل می‌شود. در نظر گرفتن عوامل زیست محیطی نه تنها بر هزینه‌های اقتصادی تاثیر می‌گذارد، بلکه بر انتخاب مسیرهای حمل و چگونگی توزیع بار بین ناوگان حمل و نقل نیز تاثیر گذار است. همچنین این مدل هزینه مدت زمان زودکرد و دیرکرد نسبت به موعد تحویل را با کمینه کردن مجموع این زمان‌ها کاهش می‌دهد. مساله مسیریابی وسایط نقلیه مورد بررسی از نوع مسایل NP-hard است، از همین رو به منظور حل این مدل پیشنهادی از الگوریتم زنبور عسل (BA) استفاده می‌شود و برای نشان دادن کارایی الگوریتم طراحی شده جواب‌های به دست آمده با نرم افزار گمز مقایسه خواهند شد. همچنین به منظور حل مسایل در ابعاد بزرگ نتایج با جواب‌های حاصل از الگوریتم بهینه‌سازی انبوه ذرات (PSO) مقایسه و مورد تجزیه تحلیل قرار می‌گیرد. نتایج نشان‌دهنده کارایی الگوریتم پیشنهادی در حل مسایل را دارد.

کلمات کلیدی: مسیریابی وسایط نقلیه، کاهش مصرف سوخت، رضایت‌مندی مشتریان، الگوریتم زنبور عسل

۱. مقدمه

مساله مسیریابی وسیله نقلیه (VRP)، جزو دسته‌ای از مسائل است که با تعیین مجموعه‌ای از مسیرها در ارتباط است که در آن هر وسیله نقلیه از یک انبار مشخص شروع به حرکت کرده، به مجموعه‌ای از مشتریان معین خدمت دهی کرده و دوباره به همان انبار بر می‌گردد. این مساله اولین بار توسط دنتزیگ و رامسر ارائه گردید و براساس روشهای ریاضی به حل آن پرداخته شد [Dantzig and Ramser, 1959]. در ادامه کلارک و رایت الگوریتم صرفه جویی را برای حل VRP پیشنهاد دادند که مبنای بسیاری از تحقیقات بعدی قرار گرفت [Clarke, and Wright, 1994] و لاپورته و همکاران [Laport, Mercure and Nobert, 1992] برای حل مسئله مسیریابی وسایط، رویکردهای گوناگونی همانند روش شاخه و حد را توسعه دادند. با پیشرفت‌های اخیر در حل اینگونه مسایل و با در نظر گرفتن فرضیات و قیود پیچیده‌تر، روش‌های فراابتکاری همانند روش الگوریتم ژنتیک [Potvin and Bengio, 1994]، جستجوی ممنوع [Ho and Haugland, 2004]، سیستم بهینه‌سازی مورچگان [Reimann,

Norouzi, 2002] شبیه‌سازی تبرید [Kuo, 2010] و الگوریتم بهینه‌سازی انبوه ذرات بهبود یافته Norouzi, 2017] توسعه داده شده است. [Sadegh-Amalnick and Tavakkoli-Moghaddam, 2017]

آمارها حاکی از آن است که هزینه سوخت بخش قابل توجهی از هزینه حمل و نقل را شامل می‌شود. برای مثال در یک شرکت حمل و نقل جاده‌ای در شانگهای چین هزینه سوخت در حدود ۶۷/۴۱٪ از هزینه کل حمل و نقل را در یک سال در بر می‌گیرد. رقمی معادل ۱/۵۵۰/۰۰۰ دلار که مقدار قابل توجهی است [Xiao et al, 2012]. در این شرایط اگر هزینه سوخت تنها ۵٪ کاهش یابد تقریباً میزان ۷۵/۵۰۰ دلار و ۳٪ کل هزینه حمل و نقل در سال صرفه‌جویی در پی خواهد داشت. در مثال دیگر می‌توان به تحقیقات ساهین و همکاران [Sahin et al, 2009] اشاره کرد که بیانگر آن است که یک کامیون با ظرفیت ۲۰ تن هنگامی که پر از بار است هزینه سوخت مصرفی آن در طی مسیر ۱۰۰۰ کیلومتر با ۶۰٪ کل هزینه حمل و نقلش برابری دارد. بنابراین کاهش سوخت مصرفی توسط بهبود کارایی عملیاتی ضروری می‌نماید.

از سوی دیگر کاهش سوخت مصرفی مزایای بیشماری را به واسطه کاهش در انتشار گازهای گلخانه‌ای به کل جامعه و محیط زیست می‌رساند. برای مثال در ایالات متحده، انتشار گازهای گلخانه‌ای متصاعد توسط بخش حمل و نقل از ۲۴/۹٪ تا ۲۷/۳٪ بین سال‌های ۱۹۹۰ تا ۲۰۰۵ افزایش یافت که در این میان حمل و نقل جاده‌ای انتشار حدود ۷۸٪ از گازهای گلخانه‌ای را در میان دیگر حالت‌های حمل و نقل باعث می‌شود [Ohnishi, 2008]. همچنین توکلی مقدم و همکاران [۱۳۹۲] به بررسی حمل و نقل مواد سوختی تحت شرایط فازی پرداختند. مدل پیشنهادی در مسیرهای استان مازنداران مورد بررسی قرار گرفت. هدف مدل تعیین بهتری مسیر برای انتقال مواد سوختی بر اساس دو معیار ریسک و هزینه بود.

بیشتر تحقیقات صورت گرفته توجه به اهداف اقتصادی را از طریق به حداقل رساندن مسافت طی شده، زمان مورد نیاز یا تعداد وسائط نقلیه مورد نیاز و ... مدنظر قرار داده‌اند و از توجه به اهداف زیست محیطی غافل مانده‌اند. از این رو، پالم [Palmer, 2007] مدلی یکپارچه در مسیریابی و انتشار آلاینده‌ها برای وسائط نقلیه ارائه کرد و نقش سرعت را در کاهش کربن دی‌اکسید تولید شده تحت سناریوهای مختلف ترافیکی و پنجره زمانی در نظر گرفت. میدن و همکاران [Maden, Eglese and Black, 2010] مساله VRP با محدودیت پنجره زمانی را که در آن سرعت به زمان سفر وابسته بود در نظر گرفتند. همچنین یک الگوریتم ابتکاری برای حل مساله پیشنهاد کردند و در نتایج خود به صرفه‌جویی ۷٪ در کربن دی‌اکسید تولید شده دست یافتند. مدل ارائه شده در یکی از شرکت‌های تحویل بار در جنوب غرب انگلستان به کار گرفته شد و کاهش ۷ درصدی انتشار گاز CO₂ را در برداشته است. کارا و همکارانش [Kara, Kara, and Yetis, 2007] مدلی برای هر دو مورد جمع‌آوری و تحویل کالا برای VRP کلاسیک با هدف کمینه کردن انرژی ارائه کردند و آن را EMVRP نامیدند به طوری که تابع بار وزن‌دار و نه فقط مسافت طی شده کمینه می‌گردد. در ادامه آن و راکا [Ahn and Rakha, 2008] به تاثیر انتخاب مسیر مناسب بر کاهش سوخت مصرفی و آلودگی هوا برای انواع مختلف وسائط نقلیه پرداختند و در تحقیقات خود به این نتیجه رسیدند که انتخاب مسیرهای سریع‌تر همانند بزرگراه‌ها، همیشه منجر به کاهش عوامل ذکر شده نمی‌شود. در عوض بهبودهای قابل توجهی در کاهش انرژی مصرفی و آلودگی هوا هنگامی که رانندگان از مسیرهای کوتاه‌تر و کندتر استفاده می‌کنند می‌تواند کسب شود؛ گرچه که این انتخاب می‌تواند منجر به افزایش در زمان سفر می‌شود.

در زمینه کاهش CO₂ اوکوهارت و همکاران [Urquhart, Scott and Hart, 2010] مساله فروشنده دوره‌گرد را برای پیدا کردن مسیرهایی که میزان گاز CO₂ را در پی دارند مطالعه کردند. در این تحقیق از مدل ارائه شده توسط بویر و همکاران [Bowyer, 1985] Akcelik and Biggs استفاده شده و بر روی شش مجموعه داده تصادفی بین ۱۰ تا ۳۰ گره مشتری مدل اجرا شده است. اویدا و همکاران [Ubeda, Arcelus and Faulin, 2011] چهار رویکرد متفاوت را با عنوان رویکرد اولیه، زمانبندی مساله

مسیریابی وسیله نقلیه با محدودیت گنجایش، مساله مسیریابی وسیله نقلیه با بارگیری در بازگشت، و مدل مساله مسیریابی وسیله نقلیه سبز برای مطالعه موردی شرکت حمل و نقل ابروسکی در اسپانیا ارائه دادند. آنها از یک ماتریس انتشارکه نشان‌دهنده میزان CO_2 انتشار یافته بین هر دو گره استفاده کرده و به کمینه میزان مصرف سوخت در مدل پرداختند. نتایج حاصل از این تحقیق کاهش ۱۳,۰۶ درصدی در مسافت طی شده و کاهش ۱۳,۱۵ درصدی انتشار آلاینده را منجر می‌شود. پرادناس و همکاران [Pradenas, Oportus, and Parada, 2013] به کمینه کردن انرژی مصرفی در VRP با حمل در بازگشت با در نظر گرفتن فاکتورهای بار، سرعت و فاصله پرداختند.

تحقیقات محققان حاکی از آن است که هزینه حمل و نقل به فاکتورهای بسیاری وابسته است که می‌تواند به دو دسته کلی تقسیم‌بندی شوند. فاکتورهای دسته اول شامل فاصله، بار، سرعت، وضعیت جاده، نرخ مصرف سوخت (در هر واحد فاصله)، قیمت سوخت و غیره هستند که ارتباط مستقیمی با برنامه‌ی زمانبندی سفر دارند. فاکتورهای دسته دوم ارتباط غیر مستقیم با زمانبندی سفر دارند و شامل استهلاک وسیله نقلیه، نگهداری و تعمیرات، دستمزد رانندگان، مالیات و غیره می‌شوند [Xiao et al, 2012]. همان‌طور که مشخص است فاکتورهای دسته اول ارتباط مستقیم با مصرف سوخت و انرژی دارند و بنابراین می‌تواند به عنوان هزینه متغیر یا هزینه سوخت مصرفی در نظر گرفته شوند. در مجموع اگر دیگر فاکتورهای ذکر شده ثابت نگاه داشته شوند؛ مصرف سوخت به طور عمده به مسافت طی شده و بار حمل شده وابسته خواهد بود. برای مثال هزینه متغیر یک وسیله نقلیه خالی، هنگامی که یک مسیر مشخص را با سرعت یکسان طی می‌کنند، کمتر از هزینه وسیله نقلیه با بار پر خواهد بود. با وجود گسترش انواع مختلف مسایل VRP بیشتر آن‌ها روی کمینه کردن هزینه توسط کاهش مسافت طی شده تمرکز کرده‌اند و نرخ مصرف سوخت به عنوان فاکتور تاثیرگذار در اغلب موارد نادیده انگاشته شده است.

در این مقاله، مدلی جدید در مساله مسیریابی وسایل نقلیه ارائه می‌شود به طوری که به حداکثر کردن رضایت مشتریان از طریق سرویس‌دهی به موقع در توزیع کالاها میپردازد و همچنین سوخت مصرفی در توزیع کالاها از طریق زمانبندی تحویل کالاها کمینه می‌شود که علاوه بر فراهم آوردن منافع اقتصادی، باعث کاهش اثرات مخرب گازهای گلخانه‌ای، کربن دی اکسید و آلودگی هوا می‌گردد. از سوی دیگر، یکی دیگر از اهداف این مدل آن است که مسیرها طوری طراحی گردند که هزینه حمل و نقل وسائط نقلیه حداقل گردد که در نهایت باعث کاهش هزینه‌های توزیع می‌گردد. این توابع هدف در یک مدل در پژوهش‌های پیشین مد نظر قرار نگرفته‌اند. ثابت شده است که مساله مسیریابی وسائط نقلیه یک مساله NP-Hard است [Lenstra and Rinnooy Kan, 1981] و استفاده از روش‌های دقیق درمورد مسایل با ابعاد به نسبت بزرگ نمی‌تواند توجیه‌پذیر باشد به همین جهت، با افزایش ابعاد مساله بایستی از الگوریتم‌های فراابتکاری به منظور حل مسایل استفاده شود. از این رو نوآوری دیگر مقاله استفاده از الگوریتم زنبور عسل (BA) به منظور حل مدل پیشنهادی است که در پژوهش‌های پیشین مد نظر قرار نگرفته است. نتایج حاصل از BA با الگوریتم بهینه‌سازی انبوه ذرات (PSO) با مسایل نمونه موجود در ابیات موضوع مقایسه می‌شوند.

۲. تعریف مساله

مساله مسیریابی وسائط نقلیه را می‌توان به وسیله یک گراف $G=(S, A)$ نشان داد به طوری که $S = \{i | i = 0, \dots, n\}$ مجموعه نقاط گره‌ها و $A = \{(S_i, S_j) : i \neq j\}$ مجموعه‌ای از کمان‌های متصل کننده گره‌ها است. نقطه S_0 نشانگر مبدأ است. $d_{ij} \geq 0$ که با هر کمان (i, j) مرتبط است، نشانگر مسافت یا زمان مسافرت و یا هزینه مسافرت بین دو نقطه i و j است. برای هر مشتری S_i یک تقاضای

برداشتی $q_i \geq 0$ در نظر گرفته می‌شود که بایستی ارضاء گردد. به منظور بیان مدل پیشنهادی پارامترها و متغیرهای تصمیم به کار رفته در مدل به صورت زیر بیان می‌گردند:

n	تعداد نقاط (مشتری‌ها) است و گره 0 نشان‌دهنده‌ی دپو می‌باشد.
K	تعداد خودروهای در دسترس
q_i	تقاضای تحویلی به مشتری i
d_{ij}	فاصله میان گره i به j
t_{ij}^k	زمان مورد نیاز جهت طی مسیر (i, j) توسط وسیله نقلیه k
T	حداکثر زمان خدمت دهی جهت و زمان طی مسیر توسط وسیله نقلیه
C_k	ظرفیت وسیله نقلیه k
h_0	میزان سوخت مصرفی در واحد فاصله بدون بار
h_1	میزان اضافی سوخت مصرفی در واحد فاصله برای واحد بار
A_i	زمان رسیدن به مشتری i
B_i	زمان شروع سرویس دهی به مشتری i
S_i	مدت زمان سرویس دهی به مشتری i (ثانیه)
e_i	بازه پایینی پنجره زمانی مشتری i
l_i	بازه بالایی پنجره زمانی مشتری i
CE_{ik}	جریمه زودکرد در گره i توسط خودرو k
CL_{ik}	جریمه دیرکرد در گره i توسط خودرو k
x_{ijk}	اگر مسیر i به j توسط وسیله نقلیه v طی شود و در غیر اینصورت برابر 0 است.
w_{ij}^k	مقدار باری که خودرو k پس از ملاقات گره i به سمت گره j حمل می‌کند

مدل ریاضی VRP پیشنهادی، به صورت زیر است:

$$\begin{aligned} \text{Min } Z = & \sum_{k=1}^K \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n c_{ijk} x_{ijk} + \sum_{k=1}^K \sum_{i=0}^n CE_{ik} (B_i - A_i) \\ & + \sum_{k=1}^K \sum_{i=0}^n CL_{ik} (B_i - l_i) + \sum_{j=1}^n \sum_{i=1}^n \sum_{k=1}^K (h_0 + h_1 w_{ij}^k) d_{ij} x_{ijk} \\ & + \sum_{i=1}^n \sum_{k=1}^K h_0 d_{i0} x_{i0v} \end{aligned} \quad (1)$$

$$\sum_{i=0}^n \sum_{v=1}^{nv} x_{ijv} = 1 \quad ; \quad j = 1, 2, \dots, n \quad (2)$$

$$\sum_{i=0}^n x_{imk} - \sum_{j=1}^n x_{mik} = 0 \quad ; \quad m = 1, 2, \dots, n \quad ; \quad k = 1, 2, \dots, K \quad (3)$$

$$\sum_{j=1}^n x_{0jk} \leq 1 \quad ; \quad k = 1, 2, \dots, K \quad (4)$$

$$\sum_{i=1}^n x_{i0k} \leq 1 \quad ; \quad k = 1, 2, \dots, K \quad (5)$$

$$w_{ij}^k \leq ca_k x_{ijk} \quad , \quad i = 0, 1, \dots, n; \quad j = 1, 2, \dots, n; \quad k = 1, 2, \dots, K \quad (6)$$

$$\sum_{j=1}^n w_{0j}^k = \sum_{j=1}^n w_{ij}^k \sum_{i=0}^n x_{ijk} \quad , \quad k = 1, 2, \dots, K \quad (7)$$

$$(w_{ji}^k - q_i - w_{ij}^k) x_{ijk} = 0 \quad (8)$$

$$\sum_{i=0}^n \sum_{j=1}^n s_i x_{ijk} + \sum_{i=0}^n \sum_{j=1}^n t_{ij}^v x_{ijk} \leq TV \quad ; \quad k = 1, 2, \dots, K \quad (9)$$

$$(A_j - B_i - s_i - t_{ij}) x_{ijk} = 0 \quad ; \quad \forall i \in N \setminus \{n+1\}, j \in N \setminus \{0\}, i \neq j \quad (10)$$

$$B_i = \max\{A_i, e_i\} \quad ; \quad \forall i \in N \setminus \{0\} \quad (11)$$

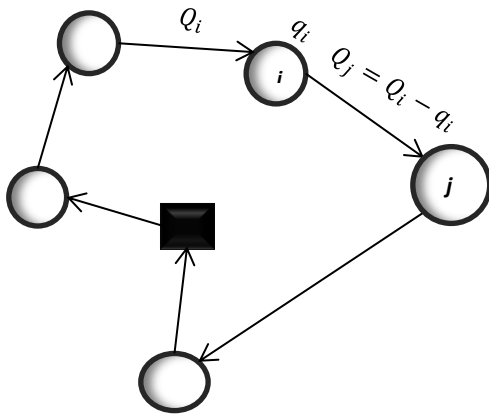
$$B_i + s_i \leq l_i \quad ; \quad \forall i \in N \setminus \{0\} \quad (12)$$

$$B_0 = s_0 = 0 \quad (13)$$

$$w_{ij}^k > 0, \quad A_i, B_i \geq 0, \quad x_{ijk} \in S, \quad x_{ijk} \in [0, 1] \quad (14)$$

تابع هدف کمینه کردن هزینه‌های حمل و نقل، نارضایتی مشتریان در تخطی از بازه تعیین شده برای سرویس‌دهی و هزینه‌های سوخت مصرفی توسط زمانبندی تحویل به موقع کالاهای سنگین تر می‌پردازد. همچنین محدودیت ۲ باعث می‌شود که هرگه تقاضا فقط از یک وسیله نقلیه توزیع کننده، خدمت دریافت کند. محدودیت ۳ بیان می‌کند که اگر وسیله نقلیه‌ای به گره‌ای وارد شود بایستی از آن خارج گردد و به این ترتیب پیوستگی مسیرها برقرار می‌باشد. محدودیت ۴ و ۵ بیانگر آن است که تمامی وسائط نقلیه از دپو شروع به حرکت می‌کنند و در انتها به دپو بازمی‌گردند. محدودیت ۶ تا ۸ مربوط به محدودیت بار و وسیله نقلیه است. محدودیت ۶ بیان می‌کند اگر $x_{ij} = 1$ میزان بار حمل شده به نقطه j از ظرفیت وسیله نقلیه تجاوز نمی‌کند. محدودیت ۷ بیان می‌کند که بار و وسیله نقلیه هنگام ترک دپو برابر با مجموع تقاضای مشتریان بازدید شده خواهد بود. همچنین محدودیت ۸ میزان بار جدید وسیله نقلیه را بعد از بازدید مشتریان محاسبه می‌کند. این محدودیت بیان می‌کند که اگر $x_{ij} = 1$ باشد بار حمل شده به گره j (Q_j) برابر است با بار حمل شده به گره i (Q_i) منهای تقاضای گره i است. شکل ۱ نشان‌دهنده این موضوع است. محدودیت ۹ بیانگر آن است که زمان سرویس دهی و طی مسیرها باید از میزان مشخص شده کمتر باشد. همچنین محدودیت ۱۰ تا ۱۳ مربوط به اعمال محدودیت پنجره زمانی و محاسبه زمان انتظار در گره مشتری و انتخاب متناسب با زمان ترک گره است. در این حالت برای مشتری i فقط در یک بازه زمانی معین $[e_i, l_i]$ امکان سرویس‌دهی وجود دارد، به این بازه زمانی اصطلاحاً پنجره زمانی گفته می‌شود، به طوری که اگر وسیله نقلیه در این بازه در دسترس نباشد، برای مشتری هزینه‌های زیادی را ایجاد می‌کند. لحظه ترک وسایل نقلیه از ایستگاه مرکزی، زمان مسافرت بین هر دو نقطه تقاضا و یک زمان خدمت اضافی به ازای هر مشتری به عنوان زمان ورود وسیله نقلیه در نظر گرفته می

شود. خدمت دهی به هر مشتری باید در پنجره زمانی مربوط به او آغاز گردد و وسیله نقلیه باید به مدت مشخصی در مکان مشتری i سرویس دهی نماید و در صورتی که وسیله نقلیه زودتر از پنجره زمانی مشتری در مکان حاضر شود مجاز است تا شروع پنجره زمانی او e_i منتظر بماند. محدودیت ۱۴ مربوط به متغیرهای مدل است.



شکل ۱. ارتباط میان Q_i و Q_j

۳. الگوریتم زنبور عسل

برای حل این مساله از الگوریتم زنبور عسل (BA) استفاده می‌شود که از رفتار طبیعی زنبورهای عسل برای پیدا کردن منابع غذایی الهام گرفته شده است. این الگوریتم برای اولین بار در سال ۲۰۰۵ توسعه یافت [Pham et al., 2005] و بسیار کم در ادبیات موضوع مورد توجه قرار گرفته است. اصول اولیه این الگوریتم از آنجا ناشی می‌شود که یک کلونی زنبور عسل می‌تواند جستجوی خود را در فواصل دور (تا مسافت ۱۰ کیلومتر) و به صورت هم زمان در چندین جهت گسترش دهد تا از تعداد زیادی از منابع غذایی بهره برداری کند. مراحل جستجوی غذای یک کلونی توسط زنبورهای پیشتاز^۶ آغاز می‌شود که برای جستجوی گلزارهای امید بخش (دارای امید بالا برای وجود نکتار یا گرده) به صورت تصادفی از گلزاری به گلزار دیگر حرکت می‌کنند. به طور کلی قطعه گلزارهایی با میزان شهد یا گرده فراوان می‌باید توسط زنبورهای بیشتری ملاقات شوند، در حالی که قطعه گلزارهایی با شهد یا گرده کمتر، باید زنبورهای کمتری را دریافت کنند. هنگامی که جستجوی تمام گلزارها پایان یافت، هر زنبور پیشتاز در سالن رقص کندو رقص خاصی را اجرا می‌کند. این رقص که به نام رقص چرخشی شناخته می‌شود، اطلاعات مربوط به جهت گلزار نسبت به کندو، فاصله کندو تا گلزار و کیفیت گلزار را به زنبورهای دیگر انتقال می‌دهد. این اطلاعات زنبورهای اضافی و پیرو را به سوی گلزار مورد نظر می‌فرستد. بدیهی است که زنبورهای پیرو بیشتری به قطعه زمین‌هایی با امید بخشی بیشتر فرستاده می‌شوند که این موضوع به کلونی اجازه می‌دهد تا منابع غذایی را سریعتر و کارآمدتر جمع‌آوری کنند [Pham et al., 2006]. شبه کد الگوریتم زنبور عسل در شکل ۲ نشان داده شده است.

مرحله ۱: تولید زنبورهای پیشتاز (جمعیت اولیه) با پاسخهای تصادفی

مرحله ۲: ارزیابی شایستگی پاسخها

مرحله ۳: تا زمانی که شرایط توقف ارضا نشده‌اند

// ایجاد جمعیت جدید

- مرحله ۴: انتخاب مکان‌هایی برای جستجوی همسایگی‌ها
 مرحله ۵: به کارگیری زنبورها برای جستجو و ارزیابی نقاط منتخب (اختصاص زنبورهای بیشتر برای بهترین مکان‌های بهتر)
 مرحله ۶: انتخاب مناسب‌ترین زنبورها از هر قطعه زمین گل
 مرحله ۷: تخصیص زنبورهای باقی‌مانده برای جستجوی تصادفی و ارزیابی عملکردشان
 مرحله ۸: پایان.

شکل ۲. شبه کد الگوریتم زنبور عسل

الگوریتم با *npop* زنبور پیشنهاد که به صورت تصادفی در فضای جستجو قرار می‌گیرند شروع می‌شود. تابع شایستگی مکان‌هایی که توسط زنبورهای پیشنهاد ملاقات می‌شوند در مرحله ۲ ارزیابی می‌شود. در مرحله ۳ به تولید جمعیت جدیدی از زنبورهای پیشرو می‌پردازد. در مرحله ۴ زنبورهایی که بالاترین شایستگی را دارند به عنوان زنبورهای منتخب انتخاب می‌شوند و مکان‌های ملاقات شده توسط آنها برای جستجوی همسایگی انتخاب می‌شوند. سپس، در مرحله‌های ۵ و ۶، الگوریتم جستجوها را در همسایگی‌های مکان‌های انتخاب شده هدایت می‌کند و زنبورهای بیشتری را نزدیک بهترین مکان‌های *ne* تخصیص می‌دهد. مقادیر شایستگی برای تعیین احتمال اینکه کدام زنبورها انتخاب خواهند شد استفاده می‌شوند. در مرحله ۶ برای هر قطعه زمین تنها زنبور عسلی با بالاترین شایستگی انتخاب خواهد شد تا جمعیت زنبور عسل بعدی را تشکیل دهد. در طبیعت چنین محدودیتی وجود ندارد، این محدودیت در اینجا برای کاهش نقاط مورد کاوش قرار گرفته معرفی شده است. در مرحله ۷، زنبورهای باقی‌مانده در جمعیت به صورت تصادفی در اطراف فضای جستجو تخصیص می‌یابند تا برای راه‌حلهای بالقوه جدید دیده‌وری کنند. این مراحل تا زمانی که یک معیار توقف ملاقات شود تکرار می‌یابد. در انتهای هر تکرار، کلونی دو بخش در جمعیت جدید خود دارد؛ نمایندگانی از هر قطعه زمین انتخاب شده و سایر زنبورهای دیده‌وری که برای انجام جستجوهای تصادفی تخصیص می‌یابند. در ادامه پارامترهای الگوریتم زنبور عسل در جدول ۱ نشان داده شده است. پارامترهای در نظر گرفته شده برای حل مدل پیشنهادی توسط الگوریتم زنبور عسل (BA) در جدول ۲ نشان داده شده است.

جدول ۱. پارامترهای الگوریتم زنبور عسل

<i>npop</i>	تعداد زنبورهای پیشنهاد (تعداد اعضای جمعیت)
<i>ns</i>	تعداد مکانهای انتخاب شده از مکانهای بازدید شده
<i>ne</i>	تعداد بهترین مکان‌ها از مکانهای انتخاب شده
<i>bne</i>	تعداد زنبورهای تخصیص داده شده به مکان‌های نخبه‌ی <i>ne</i>
<i>bns</i>	تعداد زنبورهای تخصیص داده شده برای سایر (ns-ne) مکان انتخاب شده
<i>ngh</i>	اندازه‌ی همسایگی‌ها که شامل مکان و همسایه‌های آن می‌شود
<i>MaxIt</i>	معیار توقف الگوریتم

جدول ۲. مقادیر تنظیم شده برای پارامترهای الگوریتم BA

<i>MaxIt</i>	<i>ngh</i>	<i>bns</i>	<i>bne</i>	<i>ne</i>	<i>ns</i>	<i>npop</i>
۱۰۰۰	۰/۱	۱۰	۲۰	۱۰	۳۰	۵۰

در این مقاله، به منظور ایجاد جواب های اولیه ابتدا یک رشته به اندازه n (تعداد گره) تعریف می شود. بخش i ام از این رشته بیانگر گره i ام می باشد و مقدار صحیح داخل هر بخش نشان دهنده شماره وسیله نقلیه ای است که به آن گره سرویس می دهد. از این رو عددهای صحیح یکسان در بخش ها بیانگر آن است که آن گره از وسیله نقلیه K خدمت می گیرد. سپس برای تعیین اولویت عبور وسائط نقلیه از گره ها به هر یک از اعداد صحیح بخش ها بر اساس ترتیب عبوری وسیله نقلیه از گره عدد اعشاری اضافه می شود. به منظور اجرای این روش گام های زیر را اجرا نمایید:

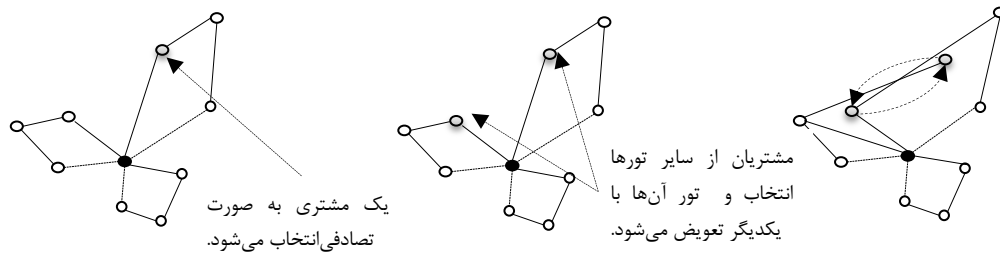
۱. برای تمامی مشتریان $i: 1, \dots, n$ گام های زیر را اجرا نمایید.

۲. تمام زن های رشته را با عدد تصادفی در بازه $[0, m+1-\varepsilon]$ پر کنید.

تمامی مشتریان مشخص شده در هر وسیله نقلیه را بر اساس عدد اعشاری به طور صعودی مرتب کنید. ترتیب اولویت ها بیانگر ترتیب عبور وسیله نقلیه است.

۳-۲ جستجوی همسایگی

پس از ایجاد جواب های جدید، هر یک از جواب ها با استفاده از روش 2-opt بهبود یافتند. در این روش، یک گره (مشتری) از یک تور (مسیر) به صورت تصادفی انتخاب می شود و جای آن با گره ها (مشتریان) در تورهای (مسیرهای) دیگر تعویض می شود. این عملگر در شکل ۳ نشان داده شده است.



شکل ۳. روش 2-opt*

۴. نتایج محاسباتی

در این بخش به منظور حل مدل پیشنهادی، دسته ای از مسائل نمونه توسط الگوریتم زنبور عسل پیشنهادی حل شده و جواب های حاصل با جواب های به دست آمده از حل مدل با الگوریتم PSO مقایسه می گردند. الگوریتم PSO یکی از الگوریتم های فراابتکاری می باشد که توانمندی بسیار مناسبی در حل این نوع مسایل دارد [Poli, Kennedy and Blackwell, 2007; Kennedy and Eberhart, 1995]. برای انجام این آزمایش ها از نرم افزار متلب استفاده شد و برای اجرای برنامه ها از کامپیوتر دو هسته ای با توانایی ۲/۳ GHZ و حافظه داخلی ۲ GB استفاده گردید. به منظور بررسی عملکرد الگوریتم پیشنهادی دو گروه مسأله یکی در ابعاد کوچک و دیگری در ابعاد بزرگ طراحی می شود. در گروه اول مسایل نمونه ای کوچک توسط الگوریتم فراابتکاری پیشنهادی حل شده و جواب های حاصل با جواب های حاصل از حل مدل با نرم افزار گمز مقایسه می شوند. هدف از آزمایش اول بررسی توانایی روش پیشنهادی در رسیدن به جواب های بهینه است. در این مقاله از روش سعی و خطا به منظور تنظیم پارامترهای الگوریتم استفاده شده است.

برای بررسی الگوریتم‌های مورد نظر تعداد ۸ مسأله با ابعاد کوچک تولید شد که مشخصات مسایل در جدول ۳ ارائه شده است. در این جدول ستون‌های اول و دوم به ترتیب شماره مسأله و تعداد مشتریان می‌باشد. ستون سوم نشان دهنده‌ی تعداد وسیله نقلیه است. ستون‌های چهارم تا ششم به ترتیب نشان‌دهنده‌ی مقدار بهینه، زمان حل و خطای محاسباتی حل مسأله توسط لینگو می‌باشد و ستون ششم تا نهم نشان‌دهنده‌ی مقدار بهینه، زمان حل و خطای محاسباتی حل مسأله توسط الگوریتم PSO می‌باشند.

جدول ۳. نتایج محاسباتی مسایل با ابعاد کوچک

حل توسط BA			حل توسط گمز			تعداد	تعداد	مسایل
خطا	زمان	بهترین	خطا	زمان	بهترین	وسائط	مشتریان	نمونه
(%)	(ثانیه)	جواب	(%)	(ثانیه)	جواب	نقلیه		
۰/۰۰	۱۱	۹۶/۲۳	۰/۰۰	۳۲	۹۶/۲۳	۲	۶	۱
۰/۰۰	۱۶	۱۱۰/۳۴	۰/۰۰	۹۳	۱۱۰/۳۴	۲	۷	۲
۰/۰۰	۲۸	۱۵۰/۲۳	۰/۰۰	۱۹۵	۱۵۰/۲۳	۳	۸	۳
۲/۲۷	۳۹	۲۲۵/۴۵	۰/۰۰	۳۴۳	۲۲۰/۴۵	۲	۸	۴
۰/۶۹	۵۵	۲۹۱/۲۳	۰/۰۰	۸۱۲	۲۸۹/۲۳	۳	۹	۵
۷/۳۳	۷۹	۳۶۵/۸۹	۰/۰۰	۱۴۵۱	۳۴۰/۸۹	۲	۱۰	۶
۴/۹	۱۰۱	۳۱۵/۶۵	۰/۰۰	۴۲۲۱	۴۸۹/۶۵	۳	۱۰	۷
۲/۳۶	۱۱۲	۵۶۳/۴۷	۰/۰۰	۴۷۶۵	۵۵۰/۴۷	۳	۱۱	۸
۵/۸۱	۵۵/۱۲	۳۷۸/۲۸	۰/۰۰	۱۴۸۹	۷۲۳/۱۴	میانگین		

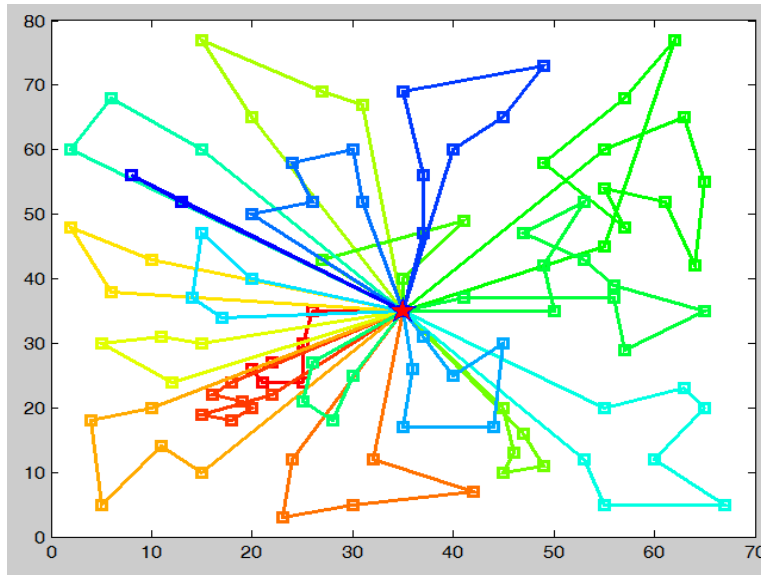
از مقایسه نتایج محاسباتی توسط الگوریتم بهبود یافته‌ی بهینه‌سازی انبوه ذرات PSO با جواب‌های به دست آمده از گمز می‌توان مشاهده نمود که میانگین خطای نتایج محاسباتی توسط الگوریتم PSO با نتایج بدست آمده توسط نرم افزار گمز ۵/۸۱٪ می‌باشد که نشان‌دهنده کارایی الگوریتم پیشنهادی است. همچنین زمان حل مسایل توسط گمز و PSO به ترتیب برابر ۱۴۸۹ و ۵۵/۱۲ است که نشان دهنده کارایی الگوریتم پیشنهادی به منظور حل مسایل در زمان کوتاه می‌باشد.

همچنین، به منظور بررسی قابلیت الگوریتم ارائه شده در ابعاد بزرگ از مجموعه تست‌های کریستوفیدز و ایون استفاده گردید. تعداد مسایل نمونه این دسته از مسایل ۱۵ عدد می‌باشد تعداد مشتریان در این مسایل از ۱۳ تا ۱۰۱ مشتری در نظر گرفته شده و تعداد وسائل نقلیه بنا به مساله متفاوت می‌باشد. همچنین نتایج محاسباتی در ابعاد بزرگ در جدول ۳ قابل مشاهده است. در این جدول ستون اول شماره مساله است، ستون‌های دوم و سوم به ترتیب نشان دهنده‌ی تعداد وسیله نقلیه و تعداد مشتریان می‌باشد. ستون چهارم الی ششم ستون‌های چهارم تا ششم به ترتیب نشان‌دهنده‌ی مقدار بهینه، زمان حل و خطای محاسباتی حل مساله توسط BA می‌باشد و ستون ششم تا نهم به نشان‌دهنده‌ی مقدار بهینه، زمان حل و خطای محاسباتی حل مساله توسط PSO می‌باشد. همانطور که از جدول ۴ مشخص است میانگین جواب‌ها برای BA و PSO به ترتیب برابر ۵۰۲۵/۱۵ و ۵۲۸۶/۸۳ می‌باشد که می‌توان نتیجه

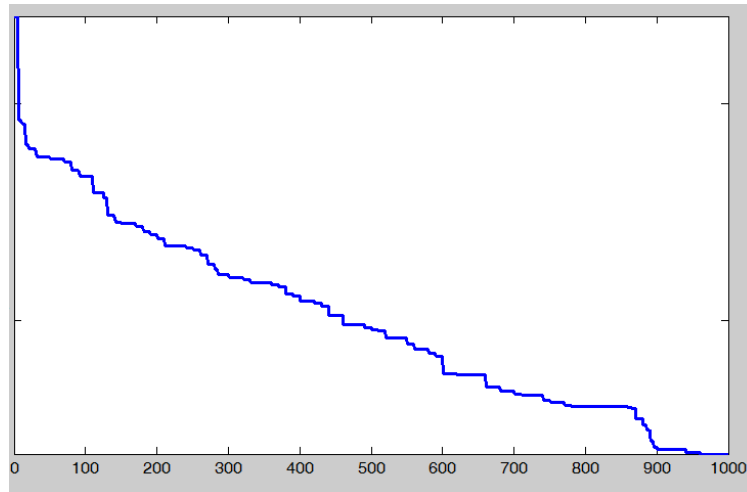
گرفت که BA توانایی خوبی در حل مساله دارد. بیشترین خطای بدست آمده توسط BA مربوط به نمونه مساله ۳ با مقدار ۳/۷۴ درصد می باشد که شکل مسیریابی شده ی آن که توسط الگوریتم پیشنهادی در شکل ۴ نشان داده شده است. میانگین زمان حل نمونه مسایل توسط BA و PSO به ترتیب برابر ۱۸۹۸/۴۳ و ۱۳۷۰/۰۵ ثانیه است که نشان دهنده کارایی محاسباتی مناسب تر BA نسبت به PSO است. همچنین روند بهبود در حل مساله توسط الگوریتم BA در مساله ۱۴ در شکل ۵ نشان داده شده است.

جدول ۴. نتایج محاسباتی مسایل با ابعاد بزرگ

مسایل نمونه	تعداد مشتریان	تعداد وسائط نقلیه	حل توسط BA			حل توسط PSO		
			بهترین جواب	زمان (ثانیه)	خطا (%)	بهترین جواب	زمان (ثانیه)	خطا (%)
۱	۱۳	۴	۱۱۰۳/۸۹	۳۳۳/۴۷	۰/۷۴	۱۰۹۵/۶۵	۲۴۰/۶۱	۰/۰۰
۲	۲۲	۴	۲۵۸۶/۷۲	۸۰۵/۸۴	۰/۰۰	۲۶۴۹/۹۷	۵۸۲/۲۶	۲/۴۴
۳	۲۳	۳	۳۹۰۰/۹۹	۱۴۰/۱۳۰	۳/۷۴	۳۷۴۵/۷۳	۹۴۷/۲۴	۰/۰۰
۴	۳۰	۳	۴۱۹۷/۹۱	۱۹۰۷/۲۸	۳/۳۸	۴۰۵۵/۶۴	۱۲۹۸/۲۹	۰/۰۰
۵	۳۰	۴	۱۳۱۷/۶۵	۲۱۷۳/۵۵	۰/۰۰	۱۴۰۳/۲۲	۱۵۵۲/۴۳	۶/۴۹
۶	۳۱	۷	۶۰۶۷/۹۱	۳۲۲۴/۸۰	۰/۰۰	۶۷۷۳/۷۴	۲۱۲۱/۵۷	۱۱/۶۳
۷	۳۳	۴	۳۸۲۵/۹۰	۷۲۰/۹۷	۰/۱۸	۳۸۱۸/۹۸	۵۵۶/۱۳	۰/۰۰
۸	۵۱	۵	۳۵۹۳/۳۵	۱۸۶۳/۶۰	۰/۰۰	۳۷۱۹/۳۳	۱۱۴۹/۹۷	۳/۵۰
۹	۷۶	۷	۷۱۳۰/۶۳	۲۸۶۹/۹۸	۰/۰۰	۷۶۴۷/۳۴	۱۶۴۷/۲۶	۷/۲۴
۱۰	۷۶	۸	۶۶۱۱/۶۶	۳۶۹۸/۵۱	۰/۰۰	۶۸۸۴/۳۲	۱۵۵۰/۲۲	۷/۳۷
۱۱	۷۶	۱۰	۶۶۶۵/۳۴	۱۷۸۰/۳۳	۰/۰۰	۷۱۱۰/۱۲	۱۷۰۳/۳۳	۶/۶۷
۱۲	۷۶	۱۴	۶۹۲۸/۲۳	۱۸۶۶/۵۶	۰/۰۰	۷۱۲۰/۴۵	۱۷۲۱/۳۳	۲/۷۷
۱۳	۷۶	۱۵	۷۰۹۸/۱۲	۱۹۰۵/۴۸	۰/۰۰	۷۳۹۹/۲۶	۱۸۰۱/۵۶	۴/۲۴
۱۴	۱۰۰	۸	۷۲۳۹/۸۹	۱۸۸۵/۱۲	۰/۰۰	۷۸۹۳/۵۴	۱۸۴۵/۴۸	۹/۰۲
۱۵	۱۰۱	۱۴	۷۳۰۹/۱۲	۱۹۵۹/۷۸	۰/۰۰	۷۹۷۶/۲۳	۱۸۳۳/۱۲	۹/۱۲
میانگین			۵۰۲۵/۱۵	۱۸۹۸/۴۳	۰/۵۳	۵۲۸۶/۸۳	۱۳۷۰/۰۵	۴/۷۱



شکل ۴. مسیر یابی انجام شده توسط الگوریتم BA برای نمونه مساله ۱۴



شکل ۵. روند بهبود در حل مساله توسط الگوریتم BA در مساله ۱۴

۵. نتیجه گیری

در این مقاله، مدلی جدید در مساله مسیریابی وسایل نقلیه به منظور حداکثر کردن رضایت مشتریان از طریق سرویس‌دهی به موقع در توزیع کالاها و همچنین حداقل کردن هزینه‌های توزیع از طریق طراحی مسیرها ارائه شد. هدف کمینه کردن سوخت مصرفی علاوه بر فراهم آوردن منافع اقتصادی، باعث کاهش اثرات مخرب گازهای گلخانه‌ای، کربن دی‌اکسید و آلودگی هوا است. از طرفی به دنبال آن است که با زمانبندی مناسب برای توزیع کالاها، حداکثر رضایت مشتریان را کسب نماید. از سوی دیگر، یکی دیگر از اهداف این مساله آن است که مسیرها طوری طراحی گردند که هزینه حمل و نقل وسائط نقلیه حداقل گردد که در نهایت باعث کاهش هزینه‌ها می‌گردد. مدل پیشنهادی توسط الگوریتم زنبور عسل حل شد و جواب‌های حاصله با الگوریتم PSO مقایسه شد. نتایج حاکی از آن است که کیفیت جواب‌های حاصل از الگوریتم BA مناسب‌تر از کیفیت جواب‌های الگوریتم PSO است همچنین زمان پیچیدگی محاسباتی و پیچیدگی حل PSO از BA بهتر بوده است. همچنین

همگرایی الگوریتم زنبور عسل مورد بررسی قرار گرفته است. تحقیقات آتی می تواند به مقایسه نتایج الگوریتم زنبور عسل با دیگر روشها بپردازد. همچنین توسعه روشهای حل دقیق می تواند مورد توجه قرار گیرد.

۶. مراجع

الف: مراجع فارسی

توکلی مقدم، رضا، فرزاد محمود سلطانی و عباس محمودآبادی، (۱۳۹۲). "توسعه مدل ریاضی مسأله مسیریابی حمل و نقل مواد سوختی تحت شرایط فازی - مطالعه موردی." فصلنامه مهندسی حمل و نقل، دوره ۴، شماره ۳، صفحه ۲۰۹-۲۲۰.

ب: مراجع انگلیسی

Ahn, K., & Rakha, H. (2008) "The effects of route choice decisions on vehicle energy consumption and emissions". *Transportation Research: Part D*, Vol. 13, No. 3, pp.151-167.

Banks, A., J. Vincent, Anyakoha, C. (2008) "A review of particle swarm optimization. Part II: hybridisation, combinatorial, multicriteria and constrained optimization, and indicative applications", *Natural Computing*, Vol. 7, No. 1, pp. 109-124.

Bowyer, D. P., Akcelik, R., Biggs, D.C. (1985) "Guide to fuel consumption analysis for urban traffic management," Australian Road Research Board Transport Research.

Clarke, C. and Wright, J.Q. (1994) "Scheduling of vehicle from a central Depot to a Number of Delivery Points," *Operations Research*, Vol. 12, No. 4, pp. 568-581

Dantzig, G., & Ramser, J. H. (1959) "The truck dispatching problem". *Management Science*, Vol. 6, No. 1, pp. 80-91.

Ho, S.C. Haugland, D. (2004) "A tabu search heuristic for the vehicle routing problem with time windows and split deliveries", *Computers & Operations Research*, Vol. 31, No. 12, pp.1947-1964.

Kara, I., Kara, B.Y., & Yetis, M.K. (2007) "Energy minimizing vehicle routing problem". In: A. Dress, Y. Xu, & B. Zhu (Eds.), *Combinatorial Optimization and Applications, Lecture Notes in Computer Science*, (4616, pp. 62-71). Berlin/Heidelberg: Springer.

Kennedy, J. & Eberhart, R.C. (1995) "Particle swarm optimization", *IEEE International Conference on Neural Networks*, Perth, Australia, pp.1942-1948.

Kuo, Y. (2010) "Using simulated annealing to minimize fuel consumption for the time-dependent vehicle routing problem". *Computers & Industrial Engineering*, Vol. 59, No. 1, pp. 157-165.

Laport, G., Mercure, H. and Nobert, Y. (1992) "A branch and bound algorithm for a class of asymmetrical vehicle routing problems", *Journal of Operational Research Society*, Vol. 43, No. 5, pp. 469-481

Lenstra, J.K. & Rinnooy Kan, A.H.G. (1981) "Complexity of vehicle and scheduling problem". *Networks*, Vol.11, No. 2, pp. 221-227.

Maden, W., Eglese, R.W., & Black, D. (2010) "Vehicle routing and scheduling with time varying data: a case study". *Journal of the Operational Research Society*, Vol. 61, No. 3, pp. 515–522.

Norouzi, N., Sadegh-Amalnick, M., Tavakkoli-Moghaddam, R. (2017) "Modified particle swarm optimization in a time-dependent vehicle routing problem: minimizing fuel consumption", *Optimization Letters*, Vol. 11, No. 1, pp.121-134.

Ohnishi, H. (2008) "Greenhouse Gas Reduction Strategies in the Transport Sector: Preliminary Report". Tech. rep., OECD/ITF Joint Transport Research Centre Working Group on GHG Reduction Strategies in the Transport Sector, OECD/ITF, Paris. <<http://www.internationaltransportforum.org/Pub/pdf/08GHG.pdf>> (accessed 11.02.11).

Palmer, A. (2007) "The Development of an integrated routing and carbon dioxide emissions model for goods vehicles". Ph.D. thesis, Cranfield University, School of Management.

Pham DT., Ghanbarzadeh, A., Koc, E., Otri, S., Rahim, S., Zaidi, M. (2005) "The Bees Algorithm". Technical Note, Manufacturing Engineering Centre, Cardiff University, UK.

Pham, D.T., Ghanbarzadeh, A., Koc, E., Otri, S., Rahim, S., Zaidi, M. (2006) "The bees algorithm - A novel tool for complex optimisation problems", *Proceedings of IPROM, Conference*, pp. 454-461.

Poli, R., J. Kennedy, Blackwell, T. (2007) "Particle swarm optimization. An overview", *Swarm Intelligence*. Vol. 1, No. 1, pp. 33–57.

Potvin, J.Y. and Bengio, S. (1994) "A genetic approach to the vehicle routing problem with time windows", publication CRT-953, Centre de recherche sur les transports, University of Montreal.

Pradenas, L., Oportus, B., Parada, V. (2013) "Mitigation of greenhouse gas emissions in vehicle routing problems with backhauling". *Expert Systems with Applications*, Vol. 40, No. 8, pp. 2985–2991.

Reimann, M., Stummer, M. and Doerner, K. (2002) "A savings based ant system for the vehicle routing problem", W.B. Langdon, et al. (Eds.). Kaufmann M (GECCO 2002) *Proceedings of the Genetic and Evolutionary Computation Conference*, San Francisco.

Sahin, B., Yilmaz, H., Ust, Y., Guneri, AF., & Gulsun, B. (2009) "An approach for analysing transportation costs and a case study". *European Journal of Operational Research*, Vol. 193, No. 1, pp. 1–11.

Ubeda S., Arcelus, F.J., and Faulin, J. (2011) "Green logistics at Eroski: A case study", *International Journal of Production Economics*, Vol. 13, No. 1, pp. 44–51.

Urquhart, N., Scott, C., Hart, E. (2010) “Using an Evolutionary Algorithm to Discover Low CO Tours within a Travelling Salesman Problem”. Proceedings of the 2010 international conference on Applications of Evolutionary Computation, pp. 421–430

Xiao, Y., Zhao, Q., Kaku, I., & Xu, Y. (2012). “Development of a fuel consumption optimization model for the capacitated vehicle routing problem”. Computers & Operations Research, Vol. 39, No. 7, 1419–1431.

Solving a vehicle routing problem considering customers' satisfaction and energy consumption by a bee algorithm

F. Salehian¹, R. Tavakkoli-Moghaddam², N. Norouzi³

¹ Ph.D. Student, School of Industrial Engineering, University of Tehran, Tehran; fd.salehian@gmail.com

² Professor, School of Industrial Engineering, University of Tehran, Tehran; tavakoli@ut.ac.ir

³ Ph.D., School of Industrial Engineering, University of Tehran, Tehran; narges.norouzi@ut.ac.ir

ABSTRACT

In this paper, a new method is presented for a vehicle routing problem (VRP) with reducing the fuel consumption and maximizing customers' satisfaction. To reduce the hazardous effects of transportation like land usage, resource and energy consumption, air pollution, global warming, damage to ecosystems and human health, researchers developed optimization models like vehicle routing problem (VRP) and its variants. Generally, the amount of pollution emitted by a vehicle over an arc (i, j) depends on many factors like vehicle load, travel speed, travel distance, road slope and etc. Vehicle load has a major effect among other factors on amount of emissions and influences the route selection. On the other hand, this paper considers customers' satisfaction via considering earliest and latest service time in customer nodes. It is proven that VRPs belong to the category of NP-Hard problems thus due to the complexity of VRP with exact methods in large-scale problems, a meta-heuristic method based on bee algorithm (BA) is proposed. Furthermore, to show the efficiency of the proposed BA, a number of test problems in small and large sizes are solved. Finally, the obtained results are evaluated with the results obtained by GAMS and PSO algorithm.

Keywords: Bee algorithm; vehicle routing problem, reducing fuel consumption, customers' satisfaction