

## کاهش انرژی مصرفی و زمان سفر در مساله مسیریابی وسائط نقلیه با در نظر گرفتن سرعت‌های سفر وابسته به زمان توسط الگوریتم رقابت استعماری

نرگس نوروزی<sup>۱</sup>، محسن صادق عمل‌نیک<sup>۲\*</sup>، رضا توکلی مقدم<sup>۳</sup>

۱. دکتری مهندسی صنایع، دانشکده مهندسی صنایع، پردیس دانشکده‌های فنی، دانشگاه تهران، تهران.

۲. دانشیار، دانشکده مهندسی صنایع، پردیس دانشکده‌های فنی، دانشگاه تهران، تهران.

۳. استاد، دانشکده مهندسی صنایع، پردیس دانشکده‌های فنی، دانشگاه تهران، تهران.

### خلاصه

در این مقاله، مساله مسیریابی وسائط نقلیه با هدف کاهش انرژی مصرفی و زمان‌های طی مسیر در شرایطی که سرعت‌های سفر وابسته به زمان هستند مورد بررسی قرار می‌گیرد. این مساله به تعیین مسیرهای بهینه برای ناوگانی از وسائط نقلیه می‌پردازد به طوری که زمان طی مسیر میان نقاط (مشتریان) به زمانی از روز که سفر در آن نقطه آغاز می‌شود وابسته است. زمان دقیق سفر با دانستن زمان عزیمت و یک تخمین دقیق از سرعت متوسط وسیله نقلیه در آن مسیر محاسبه می‌شود. از این رو در ادامه به ارائه‌ی یک مدل ریاضی جدید برای کاهش زمان طی مسیر می‌پردازیم و از آنجایی که مساله مسیریابی وسائط نقلیه مورد بررسی از نوع مسایل NP-Hard است از روش فراابتکاری رقابت استعماری (ICA) استفاده می‌شود. به همین جهت تعدادی از مسایل با در نظر گرفتن سرعت‌های سفر متغیر در بازه‌های زمانی مختلف مورد بررسی قرار گرفته است و سپس برای نشان دادن کارایی الگوریتم طراحی شده جواب‌های به دست آمده با روش بهینه‌سازی انبوه ذرات (PSO) مقایسه می‌شوند.

### اطلاعات مقاله

تاریخچه مقاله:

دریافت ۱۳۹۴/۱۰/۳۰

پذیرش ۱۳۹۵/۱۲/۲۱

کلمات کلیدی:

مسیریابی وسائط نقلیه

کاهش انرژی مصرفی

الگوریتم رقابت استعماری

بهینه‌سازی انبوه ذرات

### ۱- مقدمه

امروزه با گسترده‌تر شدن عبور و مرور و با توجه به ظرفیت محدود جاده‌ها، ترافیک به معضلی عمومی و روزانه تبدیل شده است که علاوه بر هزینه‌های اقتصادی، زیان‌های بیشمار زیست محیطی را نیز مانند آلودگی هوا، سر و صدا، تصاعد گازهای گلخانه‌ای و ... در پی دارد. از این رو هنگامی که بحث ازدحام در جاده‌ها مطرح می‌شود مساله‌ی مسیریابی در شرایط وابسته به زمان به عنوان راه‌حلی اساسی در مواجهه با مسائل حمل و نقل شهری، به منظور کاهش اثرات منفی حمل و نقل و ترافیک می‌تواند راهگشا باشد.

مساله مسیریابی وسائط نقلیه وابسته به زمان (TDVRP) به تعیین مسیرهای بهینه برای ناوگانی از وسائط نقلیه می‌پردازد به طوری که

زمان طی مسیر میان نقاط (مشتریان) به زمانی از روز که سفر در آن نقطه آغاز می‌شود وابسته است. زمان دقیق سفر با دانستن زمان عزیمت و یک تخمین دقیق از سرعت متوسط وسیله نقلیه در آن مسیر محاسبه می‌شود. از این رو یکی از اهداف اصلی این مساله کمینه کردن کل زمان سفر توسط هدایت وسائط نقلیه به مسیرهایی با ازدحام ترافیکی کمتر و با سرعت طی مسیر بیشتر به جای گیر افتادن در مسیرهای پر ازدحام است. همچنین ممکن است فاصله‌ی پیموده شده در برخی از این مسیرها بیشتر باشد اما از لحاظ مزایای اقتصادی و زیست محیطی و به دلیل تصاعد آلاینده‌های کمتر، حرکت با مناسب‌ترین سرعت و در کوتاه‌ترین زمان به صرفه خواهد بود.

مساله مسیریابی وسائط نقلیه وابسته به زمان اولین بار توسط مالاندراکی [۱] فرموله شد. او یک مساله‌ی کوچک را با ۱۰-۲۵ مشتری و ۲-۳ بازه‌ی زمانی بدون محدودیت پنجره زمانی در نظر

\* نویسنده مسئول: محسن صادق عمل‌نیک

تلفن: ۰۲۱-۸۸۰۲۱۰۶۷؛ پست الکترونیکی: amalnick@ut.ac.ir

برای وسائط نقلیه ارائه کرد و نقش سرعت را در کاهش کربن دی اکسید تولید شده تحت سناریوهای مختلف ترافیکی و پنجره زمانی در نظر گرفت. حقانی و جونگ [۱۰] الگوریتم ژنتیک (GA) را در حل TDVRP با پنجره زمانی نرم و ناوگانی ناهمگون به کار بردند. عملکرد GA توسط مقایسه‌ی آن با روش حل دقیق و حد پائین مورد ارزیابی قرار گرفت. در مسائل با ابعاد کوچک (تا ۱۰ مشتری و ۱۵ بازه‌ی زمانی) GA نتایج مشابه با حل دقیق کسب می‌کرد، در حالیکه زمان محاسباتی بسیار کمتر از زمان محاسباتی با حل دقیق بود. در مسائل با حداکثر ۳۰ مشتری و ۳۰ بازه‌ی زمانی نتایج کسب شده از GA کمتر از ۰.۸٪ با حد پائین اختلاف داشت که نشان از کارایی GA در این مسائل دارد. همچنین GA بر DVRP با تقاضاهای بلادرنگ و تغییرات بلادرنگ در زمان‌های سفر میان مشتریان نیز مورد آزمایش قرار گرفت. در این مورد زمان‌های سفر با استفاده از الگوریتم کوتاه‌ترین مسیر وابسته به زمان محاسبه گردیدند.

تحقیقات انجام یافته در ادبیات موضوع بیانگر آن هستند که زمان‌های سفر در ترافیک‌ها و مسیرهای پر ازدحام می‌توانند به طور قابل توجهی توسط مدل‌های ارائه شده کاهش یابند.

## ۲- تعریف مسأله

فرض کنید ناوگانی متشکل از  $m$  وسیله نقلیه یکسان با ظرفیت ثابت و مشخص برای سرویس‌دهی به مشتریانی (نقاط) با تقاضای مشخص در دسترس هستند. افق زمانی برنامه‌ریزی به  $P$  بازه زمانی به صورت  $T_1, T_2, \dots, T_p$  تقسیم‌بندی شده است. در یک شبکه با  $n$  گره، ماتریسی  $n \times n$  از زمان‌های سفر میان هر جفت گره  $(i, j)$  به صورت  $C(T_p) = [c_{ij}(T_p)]$  ایجاد می‌شود به طوری که درایه‌های آن بیان‌کننده‌ی زمان‌های سفر از  $i$  به  $j$  هنگامی که وسیله نقلیه گره  $i$  را در بازه‌ی زمانی  $T_p$  ( $p = 1, 2, \dots, P$ ) به سمت  $j$  ترک می‌کند هستند.

در این شرایط هدف تعیین مجموعه‌ای از مسیرها با حداقل هزینه است که هر مشتری با توجه به فرضیات ذیل سرویس‌دهی شود:

- هر وسیله نقلیه از دپو شروع به حرکت می‌کند و در نهایت باید به دپو باز گردد.
- تقاضای مشتریان ثابت و قطعی می‌باشد.
- هر مشتری فقط و فقط از یک وسیله نقلیه توزیع کننده خدمت دریافت می‌کند و سرویس‌دهی چندگانه مجاز نمی‌باشد.
- ظرفیت وسائط نقلیه باید دقیقاً شامل مجموع تقاضای مشتریانی باشد که وسیله نقلیه می‌باید آن‌ها را سرویس دهد و در هر بار سرویس‌دهی تمامی تقاضای مشتریان ارضا می‌شود.
- مجموع زمان‌های سرویس‌دهی وسائط نقلیه به مشتریان دارای محدودیت می‌باشد و ثابت است.
- مدت زمان طی مسیر بین نقاط وابسته به زمان شروع سفر می‌باشد.

گرفت به طوری که زمان سفر در هر مسیر یک تابع پله‌ای بود. در ادامه مالاندرآکی و داسکین [۲] هر دو مساله‌ی VRP وابسته به زمان و TSP وابسته به زمان را مورد بررسی قرار دادند. آن‌ها از برنامه‌ریزی خطی عدد صحیح ترکیبی استفاده کردند و محدودیت پنجره زمانی و ظرفیت را در فرمول‌بندی خود مدنظر قرار دادند. همچنین زمان‌های سفر با استفاده از توابع پله‌ای محاسبه گردید و روش ابتکاری حریصانه‌ی نزدیک‌ترین همسایگی بدون در نظر گرفتن فاز بهبود برای TDVRP و TDTSP بدون پنجره زمانی پیشنهاد گردید. در مورد مسائل با حل دقیق نیز در ابعاد کوچک روش شاخه و برش استفاده شد. همچنین مالاندرآکی و دیال [۳] یک الگوریتم برنامه‌ریزی پویا برای حل TDTSP ارائه کردند.

مهمترین نقطه‌ی ضعف مدل‌های ارائه شده در مقالات پیشین در زمینه‌ی وابستگی زمانی، در نظر نگرفتن خصیصه‌ی زودترین ورود-زودترین خروج بود که ارضا نمی‌شد. از این رو ایچوا و همکاران [۴] مدلی مبتنی بر سرعت‌های سفر وابسته به زمان که ویژگی زودترین ورود-زودترین خروج را نیز ارضا می‌کرد ارائه کردند و نشان دادند که مدل‌های مبتنی بر زمان‌های سفر گسسته ویژگی زودترین ورود-زودترین خروج را ارضا نمی‌کنند. آن‌ها مدلی مبتنی بر سرعت سفر گسسته ارائه کردند؛ به عبارت دیگر در مدل پیشنهادی آن‌ها در هر مسیر یک تابع سرعت پله‌ای تخصیص یافت که به تبع آن زمان سفر به صورت توابع خطی پیوسته درآمد که ویژگی زودترین ورود-زودترین خروج را نیز ارضا می‌کرد. سپس یک ارزیابی از مدل پیشنهادی در موقعیت پویا و ایستا با استفاده از الگوریتم جستجوی ممنوع برای مساله‌ای با ۱۰۰ مشتری و ۳ بازه‌ی زمانی ارائه گردید. نتایج حاکی از آن بود که مدل‌های وابسته به زمان بهبود قابل توجهی نسبت به مدل‌هایی با زمان‌های سفر ثابت ایجاد می‌کنند.

متعاقباً فلیچمن و همکاران [۵] به تحلیل روش‌های سازنده و بهبود دهنده برای حل تقریبی TDVRP با در نظر گرفتن پنجره زمانی و بدون آن پرداختند. این الگوریتم‌ها در مسائل کسب شده از یک سیستم اطلاعات ترافیک در شهر برلین مورد آزمایش قرار گرفت. در ادامه فیگلویزی [۶] مثال‌های وابسته به زمان را با ۱۰۰ مشتری و با استفاده از روش‌های سازنده جدید حل کرد به طوری که در هر تکرار مشتری با کمترین هزینه برای سرویس‌دهی انتخاب می‌گردید و از فاز بهبوددهنده استفاده نگردید. کوک و همکاران [۷] چهار استراتژی مختلف را برای مواجهه با ترافیک مورد مقایسه قرار دادند. همچنین آن‌ها یک مدل سرعت در یک شبکه‌ی جاده‌ای که عناصر کلیدی ترافیک را در ساعات شلوغی بازتاب می‌کرد ارائه کردند. سپس تعدادی مثال برای سطوح مختلف ترافیکی حل شدند. میدان و همکارانش [۸] 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 دی اکسید تولید شده دست یافتند. پالم [۹] مدلی یکپارچه در مسیریابی و انتشار آلاینده‌ها

۱-۲- مدل ریاضی پیشنهادی مساله

فرض کنید افق زمانی برنامه ریزی به  $P$  بازه‌ی زمانی به صورت ماتریس فواصل  $D = (d_{ij})$  و ماتریس سرعت‌های سفر  $V_T = (v_{ijT}) T \in \{T_1, T_2, \dots, T_P\}$  در دسترس هستند.

پارامترهای به کار رفته در مدل به صورت ذیل بیان می‌گردند:

$n$  تعداد نقاط (مشتری‌ها) است و گره 0 نشان‌دهنده‌ی دپو می‌باشد.

$m$  تعداد خودروهای در دسترس 1, ...,  $M$

$q_i$  تقاضای گره  $i$  است بنابراین  $q_0 = 0$  است.

$d_{ij}$  فاصله میان گره  $i$  به  $j$

$\delta_{ij}^m$  زمان طی مسیر از  $i$  به  $j$  توسط وسیله نقلیه  $m$

$s_i^m$  زمان مورد نیاز برای ارائه خدمت به مشتری  $i$ ، توسط وسیله نقلیه  $m$

$l_i$  میزان باری است هنگامی که وسیله نقلیه به گره  $i$  می‌رسد به همراه دارد.

$h_0$  میزان سوخت مصرفی در واحد فاصله بدون بار می‌باشد.

$h_1$  میزان اضافی سوخت مصرفی در واحد فاصله برای واحد بار می‌باشد.

$\vartheta_{ijT_p}$  سرعت وسیله نقلیه در بازه‌ی زمانی  $T_p$   
 $[\bar{t}_p, \bar{\bar{t}}_p]$  حد بالا و پائین بازه‌ی زمانی  $p$

$T$  حداکثر زمان خدمت دهی جهت و زمان طی مسیر توسط وسیله نقلیه  $m$

$C_m$  ظرفیت وسیله نقلیه  $m$

$t_j^a$  زمان ورود وسیله نقلیه به مشتری  $j$

$t_i^d$  زمان ترک مشتری  $i$  توسط وسیله نقلیه

$S$  زیر مجموعه‌ای که در آن  $S = \{i | i = 0, \dots, n\}$  می‌باشد.

$x_{ijm}$  اگر مسیر  $i$  به  $j$  توسط وسیله نقلیه  $m$  طی شود 1 و در غیر اینصورت برابر 0 است.

در ادامه به ارائه‌ی مدل پیشنهادی مسیریابی وسائط نقلیه پیشنهادی می‌پردازیم:

$$\begin{aligned} \text{Min } Z = & \sum_{j=1}^n \sum_{i=1}^n \sum_{m=1}^M (h_0 + h_1 l_j) d_{ij} x_{ijv} \\ & + \sum_{i=1}^n \sum_{m=1}^M h_0 d_{i0} x_{i0v} \\ & + \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n \sum_{m=1}^M (\delta_{ij}^m + s_i^m) x_{ijm} \end{aligned} \quad (1)$$

$$\sum_{i=0}^n \sum_{m=1}^M x_{ijm} = 1 \quad ; \quad j = 1, 2, \dots, n \quad (2)$$

$$\sum_{j=1}^n \sum_{m=1}^M x_{ijm} = 1 \quad ; \quad i = 0, 1, \dots, n \quad (3)$$

$$\sum_{i=0}^n x_{ikm} - \sum_{j=1}^n x_{kjm} = 0 \quad ; \quad k = 1, 2, \dots, n \quad (4)$$

$$(l_i - q_i - l_j) x_{ijm} = 0 \quad (5)$$

$$t_j^a = \sum_{p=1}^P \left( \left( t_{ij}^d + \frac{d_{ij}}{\vartheta_{ijT_p}} - \bar{t}_p \right) \times \frac{\vartheta_{ijT_p}}{\vartheta_{ijT_{p+1}}} + \bar{t}_p \right) x_{ijm} \quad (6)$$

$$\delta_{ij} = t_j^a - t_i^d \quad (7)$$

$$\sum_{i=0}^n q_i \sum_{j=1}^n x_{ijm} \leq C_m \quad ; \quad m = 1, 2, \dots, M \quad (8)$$

$$\sum_{i=0}^n s_i^m \sum_{j=1}^n x_{ijm} + \sum_{i=0}^n \sum_{j=1}^n \delta_{ij}^m x_{ijm} \leq T \quad ; \quad m = 1, 2, \dots, M \quad (9)$$

$$\sum_{i=1}^n x_{i0m} \leq 1 \quad ; \quad m = 1, 2, \dots, M \quad (10)$$

$$\sum_{j=1}^n x_{0jm} \leq 1 \quad ; \quad m = 1, 2, \dots, M \quad (11)$$

$$\sum_{v=1}^{nv} \sum_{j \in S} \sum_{j \in S} x_{ijv} \leq |S| - r(S) \quad ; \quad S \subseteq A - 1 \quad S \neq \emptyset \quad (12)$$

$$x \in S, x_{ijm} \in [0, 1], \quad t_i \geq 0 \quad (13)$$

تابع هدف این مدل پیشنهادی، به کمینه کردن هزینه‌های انرژی مصرفی و زمان‌های طی مسیر می‌پردازد. محدودیت (۲) و (۳) باعث می‌شود که هرگره تقاضا فقط از یک وسیله نقلیه‌ی توزیع کننده، خدمت دریافت کند. قید (۴)، بیان می‌کند که اگر وسیله نقلیه‌ای به گره‌ای وارد شود بایستی از آن خارج گردد و به این ترتیب پیوستگی مسیرها برقرار است. محدودیت (۵) بیان می‌کند که اگر  $x_{ijv} = 1$  باشد بار حمل شده به گره  $j$  برابر است با بار حمل شده به گره  $i$  منهای تقاضای گره  $i$  است. محدودیت (۶) و (۷) به محاسبه‌ی زمان رسیدن به مقصد و زمان طی مسیر با در نظر گرفتن زودترین ورود-زودترین خروج می‌پردازند. محدودیت (۸) مربوط به حداکثر ظرفیت وسائط نقلیه است. محدودیت (۹) بیانگر آن است که مجموع زمان سرویس دهی در گره‌ها و مدت زمان عبور از مسیرها توسط وسائط نقلیه نباید بیشتر از زمان  $T$  باشد. قیدهای (۱۰) و (۱۱) بیانگر آن هستند که مبدا و مقصد تمامی وسائط نقلیه، دپو می‌باشد. همچنین رابطه (۱۲) مربوط به حذف زیرگردش‌ها است.

۳- رویکرد حل مسئله

در الگوریتم‌های بهینه‌سازی، علیرغم توجه به تکامل زیستی انسان و سایر موجودات، به تکامل اجتماعی و تاریخی و به عنوان پیچیده-ترین و موفق‌ترین حالت تکامل، توجه چندانی نشده‌است. الگوریتم رقابت استعماری، با الهام گرفتن از تکامل اجتماعی انسان، جهت بهینه‌سازی توابع پیچیده توسعه داده شده است. این الگوریتم نیز با تعدادی جمعیت اولیه شروع می‌شود. در این الگوریتم، هر عنصر جمعیت، یک کشور نامیده می‌شود. کشورها به دو دسته مستعمره و استعمارگر تقسیم می‌شوند. هر استعمارگر، بسته به قدرت خود، تعدادی از کشورهای مستعمره را به سلطه خود درآورده و آنها را کنترل می‌کند. سیاست جذب و رقابت استعماری، هسته اصلی این

● جهش: دو خودروی متفاوت از کروموزوم اولیه در نظر گرفته شده و برخی مسیرهای تخصیص یافته به آن‌ها به صورت تصادفی انتخاب و تعویض می‌گردند. همانند عملگر ترکیب، در پیاده‌سازی عملگر جهش نیز مشتریان جدیدی که قرار است توسط هر خودرو بازدید گردند جایگزین مشتریان قدیمی بازدید شده توسط آن خودرو می‌شوند.

اکنون بخشی از مستعمرات به صورت تصادفی انتخاب و کشورهای تصادفی جدیدی جایگزین آنها می‌گردند. سپس قدرت هر کشور بر مبنای تابع هدف معرفی شده در مدل ریاضی، محاسبه گردیده و قوی‌ترین کشورها در هر امپراطوری به عنوان امپراطور جدید شناخته می‌شوند. اکنون نوبت به فعال نمودن عملگر رقابت استعماری در بین امپراطورها می‌رسد.

● رقابت استعماری: در این مرحله، ضعیف‌ترین امپراطوری شناسایی شده و بخشی از مستعمرات آن با توجه به قدرت محاسبه شده برای سایر امپراطوری‌ها به شکلی احتمالی بین آنها تقسیم می‌شوند.

الگوریتم فوق تا آن جا ادامه پیدا می‌کند که تمام امپراطوری‌های ضعیف بر اثر مرور زمان از هم پاشیده و تنها یک امپراطوری باقی بماند. تنها امپراطور باقی مانده به عنوان بهترین جواب ذخیره شده و به نمایش در می‌آید [۱۲].

الگوریتم را تشکیل می‌دهند. عملگر جذب برای حرکت دادن مستعمرات به طرف قوی‌ترین کشور هر امپراطوری استفاده می‌گردد. رقابت استعماری شبیه‌ساز رفتار کشورهای استعمارگر برای تحت سلطه درآوردن سایر کشورها است. قدرت کلی امپراطوری بصورت مجموع قدرت کشور استعمارگر به اضافه درصدی از قدرت میانگین مستعمرات آن تعریف می‌شود. یکی از شروط توقف این الگوریتم از بین رفتن تمام امپراطوری‌های ضعیف و یکی شدن همه آنها است [۱۱].

از طرفی الگوریتم رقابت استعماری علی‌رغم عملکرد درخشان در جستجوی فضاهای پیوسته، به تنهایی در بهینه‌سازی مسائل گسسته ناتوان می‌باشد. بنابراین در این مقاله، روشی جهت تلفیق قدرت جستجوی الگوریتم رقابت استعماری و توانایی ابزارهای الگوریتم ژنتیک در بهبود جواب‌های گسسته ارائه گردیده است. در واقع این روش تلفیقی در نتیجه هم‌آهنگ شدن عملگرهای جذب، رقابت استعماری، ترکیب، جهش و تولید تصادفی می‌باشد. شبه کد الگوریتم طراحی شده در شکل ۱ آورده شده است. در بدنه اصلی الگوریتم تلفیقی مورد بحث، عملگر جذب از طریق ترکیب مستعمرات با امپراطورها فعال می‌گردد. به منظور جستجوی محلی جهت ارتقاء بهترین جواب‌های موجود، تعدادی از مستعمرات به همراه تمامی امپراطورها انتخاب شده و جهش می‌یابند.



شکل (۱): شبه کد الگوریتم رقابت استعماری

## ۴- نتایج محاسباتی

است. در این جدول ستون اول شماره مسأله است، ستونهای دوم و سوم به ترتیب نشان دهنده‌ی تعداد مشتریان و تعداد وسائط نقلیه می‌باشند. ستون‌های چهارم تا ششم به ترتیب نشان‌دهنده‌ی مقدار بهینه، زمان حل و خطای محاسباتی حل مسأله توسط الگوریتم رقابت استعماری می‌باشد و ستون‌های هفتم تا نهم به ترتیب نشان‌دهنده‌ی مقدار بهینه، زمان حل و خطای محاسباتی حل مسأله توسط PSO می‌باشند. همانطور که از جدول ۱ مشخص است میانگین جواب‌ها برای ICA و PSO به ترتیب برابر ۱۴۶۳/۱۲ و ۱۵۴۳/۰۶ می‌باشد و میانگین خطا برای PSO برابر ۵/۴۷ درصد است که می‌توان نتیجه گرفت که جواب ارایه شده توسط الگوریتم رقابت استعماری قادر به حل مسایل در ابعاد بالا می‌باشد. همچنین زمان حل نمونه مسایل توسط PSO برابر ۱۰۹/۱۱ ثانیه است که نسبت به حل نمونه مسایل توسط ICA کمتر است.

در این بخش عملکرد الگوریتم پیشنهادی مورد بررسی قرار خواهد گرفت و سپس با نتایج حاصل از الگوریتم بهینه‌سازی انبوه ذرات مورد مقایسه قرار خواهد گرفت. اجرای برنامه‌ها توسط کامپیوتری Corei3 با توانایی ۲/۵ GHZ و حافظه‌ی داخلی ۴ GB انجام شده است. به منظور بررسی قابلیت الگوریتم ارایه شده در ابعاد بزرگ از مجموعه تست‌های مسائل کریستوفیدز [۱۳] استفاده گردید. اندازه‌ی ناوگان بر اساس تعداد بهینه‌ی مسیره‌های موجود در ادبیات موضوع تنظیم شد. زمان‌های سفر با استفاده از ماتریس سرعت‌های سفر وابسته به زمان محاسبه می‌شود به طوری که هر درایه متناظر با سرعت مرتبط با یک بازه‌ی زمانی می‌باشد. بازه‌ی زمانی برنامه‌ریزی به ۵ بازه‌ی زمانی ۲ ساعته از ۷ صبح تا ۵ بعد از ظهر تقسیم شد. نتایج محاسباتی حاصل شده در جدول ۱ قابل مشاهده

جدول (۱): نتایج محاسباتی توسط الگوریتم‌های پیشنهادی

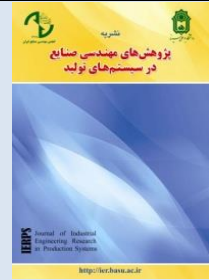
حل توسط ICA		حل توسط PSO		تعداد وسائط نقلیه	مسایل نمونه
زمان (ثانیه)	بهترین جواب	خطا (%)	زمان (ثانیه)		
۹۴/۴۵	۶۹۸/۱۶	۱۲/۲۸	۸۹/۱۲	۶	۱
۹۸/۲۸	۱۱۸۱/۶۵	۴/۵۴	۹۰/۱۸	۹	۲
۱۳۱/۲۶	۱۲۵۰/۰۲	۶/۲۰	۹۸/۴۶	۱۰	۳
۱۲۱/۴۴	۷۸۵۱/۶۵	۱/۲۴	۱۱۰/۳۴	۱۵	۴
۱۵۱/۱۶	۲۵۵۹/۱۲	۱/۹۷	۱۲۰/۲۰	۱۸	۵
۱۱۳/۲۳	۹۸۸/۸۲	-۰/۴۹	۹۷/۳۵	۷	۶
۱۰۱/۳۶	۱۲۲۰/۰۹	۶/۸۹	۱۰۱/۸۷	۱۰	۷
۱۲۱/۱۲	۱۳۰۱/۱۶	۵/۴۴	۱۱۰/۰۹	۱۴	۸
۱۳۰/۳۶	۱۷۳۷/۱۲	۳/۷۷	۱۲۱/۰۶	۱۷	۹
۱۸۹/۴۴	۲۲۹۳/۷۴	۰/۹۰	۱۵۵/۴۰	۲۱	۱۰
۱۲۴/۲۱	۱۵۱۶/۲۳	۲۶/۵۸	۱۱۱/۹۸	۱۳	۱۱
۱۱۶/۰۲	۱۲۰۴/۰۶	۱/۳۲	۱۰۷/۴۴	۱۰	۱۲
۱۳۶/۳۶	۱۴۶۷/۳۲	۹/۴۱	۱۱۹/۰۶	۱۵	۱۳
۱۳۷/۶۵	۱۲۷۸/۴۵	۲/۵۷	۱۲۴/۴۰	۱۴	۱۴
۱۲۵/۸۰	۱۴۶۳/۱۲	۵/۴۷	۱۰۹/۱۱	۱۵۴۳/۰۶	میانگین

## ۵- نتیجه‌گیری

در این مقاله، یک مدل ریاضی جدید برای مسیریابی وسائط نقلیه با هدف کاهش انرژی مصرفی و زمان‌های طی مسیر با در نظر گرفتن سرعت‌های سفر وابسته به زمان ارائه گردید. مسائل مسیریابی وسائط نقلیه وابسته به زمان می‌توانند به طور غیر مستقیم در کاهش انرژی مصرفی با کمینه کردن کل زمان سفر توسط هدایت وسائط نقلیه به مسیرهایی با ازدحام ترافیکی کمتر و با سرعت طی مسیر بیشتر مشارکت کنند. علاوه بر این سایر قیود مساله شامل قیود ظرفیت و زمان توزیع به منظور کمینه کردن هزینه حمل نیز مورد توجه قرار گردید. سپس مدل ارائه شده توسط الگوریتم الگوریتم رقابت استعماری برای مسائل نمونه با در نظر گرفتن ۵ بازه‌ی زمانی حل گردید و نتایج بدست آمده با نتایج حاصل از بهینه‌سازی انبوه ذرات (PSO) مقایسه شد که نشان داد الگوریتم پیشنهادی توانایی خوبی برای حل مسایل دارد.

## مراجع

- times. *European Journal of Operational Research*, 144(2): 379–396.
- [5] Fleischmann, B., Gietz, M., Gnutzmann, S., (2004). Time-varying travel times in vehicle routing. *Transportation Science*, 38(2): 160–173.
- [6] Figliozzi, M. A., (2009). A route improvement algorithm for the vehicle routing problem with time dependent travel times. *Proceedings of the 88th Transportation Research Board annual meeting*, Washington DC, USA.
- [7] Cooke, K.L., Halsey, E., (1966). The shortest route through a network with time-dependent inter nodal transit times. *Journal of Mathematical Analysis and Applications*, 14: 492–498.
- [8] 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*, 61(3): 515–522.
- [9] 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.
- [10] Haghani, A., Jung, S., (2005). A dynamic vehicle routing problem with time-dependent travel times. *Computers & Operations Research*, 32(11): 2959–2986.
- [11] Lucas, C., Nasiri-Gheidari, Z., Tootoonchian, F. (2010). Application of an imperialist competitive algorithm to the design of a linear induction motor. *Energy Conversion and Management*, 51(7): 1407–1411.
- [۱۲] نوروزی، ن.، صادق عمل‌نیک، م.، توکلی مقدم، ر. ۱۳۹۴. کاهش انرژی مصرفی در مساله مسیریابی وسائط نقلیه با در نظر گرفتن سرعت‌های سفر وابسته به زمان توسط الگوریتم رقابت استعماری، یازدهمین کنفرانس بین‌المللی مهندسی صنایع، تهران، ایران.
- [13] Christofides, N., Mingozzi, A., Toth, P., (1979). The vehicle routing problem. In: Christofides, N., Mingozzi, A., Toth, P., Sandi, C. editors. *Combinatorial optimization*. Chichester, UK: Wiley. 315–318.
- [1] Malandraki, C., (1989). Time dependent vehicle routing problems: Formulations, solution algorithms and computations experiments. Ph.D. Dissertation, Northwestern University, Evanston, III.
- [2] Malandraki, C., Daskin, MS., (1992). Time dependent vehicle routing problems: formulations, properties and heuristic algorithms. *Transport Science* 26(3): 185–200.
- [3] Malandraki, C., Dial, R.B., (1996). A restricted dynamic programming heuristic algorithm for the time dependent traveling salesman problem. *European Journal of Operational Research* 90: 45–55.
- [4] Ichoua, S., Gendreau, M., Potvin, JY., (2003). Vehicle dispatching with time-dependent travel



## Minimizing Energy Consumption and Travel Time in a Vehicle Routing Problem with Time-Dependent Speeds Using an Imperialist Competitive Algorithm

N. Norouzi, M. Sadegh-Amalnick\*, R. Tavakkoli-Moghaddam

<sup>1</sup> School of Industrial Engineering, College of Engineering, University of Tehran, Tehran, Iran.

---

### ARTICLE INFO

#### *Article history:*

Received 20 January 2016  
Accepted 11 March 2017

#### *Keywords:*

Vehicle routing problem  
Energy consumption  
Imperialist competitive algorithm  
Particle swarm optimization

---

### ABSTRACT

In this paper, a new mathematical model for vehicle routing problem is presented. The objectives are to minimize the energy consumption and the travel times in which speeds varied in different hours of the day. Since the vehicle routing problem belongs to the category of NP-hard problems, to solve the problem, a method based on the imperialist competitive algorithm (ICA) is proposed. Finally, the associated results are compared with the results obtained by particle swarm optimization (PSO) on the well-known benchmark problems.

---

\* Corresponding author. Mohsen Sadegh-Amalnick  
Tel.: 021-88021067 ; E-mail address: [amalnick@ut.ac.ir](mailto:amalnick@ut.ac.ir)