

## بهینه‌سازی الگوریتم کلونی مورچگان برای مسأله توسعه یافته‌ای از مسیریابی

### وسایل نقلیه با پنجره زمانی و محدودیت ظرفیت

امیرمسعود رحیمی\*، دانشیار، گروه عمران، دانشکده مهندسی، دانشگاه زنجان، زنجان، ایران

سجاد مرامی، دانش آموخته کارشناسی ارشد، دانشکده فنی و مهندسی، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد اهر، ایران

\*پست الکترونیکی نویسنده مسئول: amrahimi@znu.ac.ir

دریافت: ۹۷/۰۳/۲۳ - پذیرش: ۹۷/۰۸/۰۵

صفحه ۱۴۴-۱۳۵

#### چکیده

یافتن مسیر مناسب برای حل مسائل مسیریابی وسایل نقلیه در تحقیقات کاربردی حمل و نقل از جایگاه مهمی برخوردار است. در مقاله حاضر از الگوریتم جامعه مورچگان برای بهینه‌سازی حل مسأله مسیریابی وسایل نقلیه با پنجره زمانی و اعمال محدودیت ظرفیت استفاده شد. در ابتدا الگوریتم مورچگان را بر روی مسأله مسیریابی وسایل نقلیه با پنجره زمانی و محدودیت ظرفیت وسایل نقلیه کلاسیک اجرا شد. در این حالت از ۹ مسأله اجرا شده با ۱۰۰ مشتری در ۶ مسأله جواب‌ها بهینه شده‌اند. در مرحله بعد، الگوریتم بر روی روش توسعه یافته‌ای از مسأله مسیریابی وسایل نقلیه با پنجره زمانی پیاده شد. جواب‌های حاصله از اجرای مسأله فوق بر روی ۱۰۰ مشتری نشان می‌دهد که در تمامی مسائل جواب‌ها بهبود یافته‌اند. بیشترین کاهش هزینه مربوط به مسأله R206 با ۳۲٫۷۲ درصد کاهش هزینه می‌باشد. بطور متوسط کمتر از ۲۰ ثانیه برای اجرای هر مسأله زمان لازم است.

واژه‌های کلیدی: بهینه‌سازی، الگوریتم جامعه مورچگان، مسأله مسیریابی وسایل نقلیه با پنجره زمانی و محدودیت ظرفیت

وسایل نقلیه

#### ۱- مقدمه

برای مسئله فروشنده دوره‌گرد را جهت تخمین حلقه تور برای مسئله بهینه‌سازی وسیله نقلیه باز پیشنهاد کردند. ویژگی اصلی این الگوریتم، طراحی مسیرهای اتوبوس‌هایی است که باید دانش‌آموزان مدرسه را به موقع از چندین ایستگاه، سوار و پیاده کنند (GurpreetSingh, Dhir, 2014). میکال شینز<sup>۵</sup> (۲۰۱۴) سیستم کلونی مورچه را برای مسئله مسیریابی وسایل نقلیه ناهمگن با محدودیت دینامیکی ظرفیت و با پنجره زمانی و تحویل جدا ارائه داد. هدف بهینه‌سازی سفر کامیون‌های سوخت‌گیری بود (Schyns, 2015). یوینفی<sup>۶</sup> و همکارانش (۲۰۱۵) الگوریتم بهینه‌سازی کلونی مورچگان<sup>۷</sup> (ACO) بر مبنای معادلات دیفرانسیلی اینتو<sup>۸</sup> را ارائه کردند که ادغام افکار اینتو با دقت الگوریتم بهینه‌سازی کلونی مورچگان می‌باشد و فرآیند موجی و حرکت هم‌زمان را اجرا می‌کند.

مسئله مسیریابی وسایل نقلیه<sup>۱</sup> یکی از مهمترین مسائل حمل و نقل می‌باشد (Marcus et al, 2015). وقتی یک شرکت بتواند طول مسیر تحویل کالا را کاهش دهد، سرویس‌دهی بهتر و مناسب‌تری برای مشتریان انجام می‌دهد و سهم بیشتری از بازار را بدست می‌آورد (John et al, 2004). مارکوس مک‌ناب و همکارانش (۲۰۱۴) تأثیر ترکیب عملگرهای حرکتی جستجوی محلی را که عمدتاً در مسئله مسیریابی وسیله نقلیه و انواع مختلف آن استفاده می‌شود را آنالیز کردند. آنها به این یافته رسیدند که وقتی این مسائل با مسائل ابتکاری سیستم مورچه‌ای ماکزیمم-مینیمم<sup>۲</sup> ادغام می‌شوند، دارای راه‌حل‌های بهتری بوده و نیاز به زمان حل کمتری دارند (Marcus et al, 2015). گورپریت سینگ<sup>۳</sup> و ویجادی<sup>۴</sup> (۲۰۱۴) بهینه‌سازی کلونی مورچگان

## ۲- ساختار الگوریتم جامعه مورچگان

بهینه‌سازی کلونی مورچه (ACO) یک فرآیند هوشمند مصنوعی از رفتار جستجوی غذا از کلونی مورچه در طبیعت الهام گرفته است (Xiao and Jiang-qing, 2012).

### ۲-۱- اطلاعات ابتکاری

اطلاعات هیوریستیکی در این مسأله مانند مسأله فروشنده دوره‌گرد  $1/d$  که  $d$  طول مسیر است در نظر گرفته می‌شود (Reed et al, 2014 and Narasimha et al, 2007 and Dorigo and Socha, 2013).

$$\eta_{ij} = \frac{1}{d_{ij}} \quad (1)$$

### ۲-۲- ساخت جواب

در این مسأله ابتدا مورچه‌ها بصورت تصادفی یک گره را انتخاب و سپس با استفاده از رویکرد الگوریتم کلونی مورچه، گره‌های بعدی را انتخاب می‌کند. این عمل تا زمانی که تمامی مشتریان (گره‌ها) انتخاب شوند ادامه می‌یابد و هر مورچه پس از اتمام جستجوی خود دوباره به لانه (انبار) برمی‌گردد. مورچه‌ها براساس تابع احتمال زیر مسیرهای خود را انتخاب می‌کنند:

$$P_{ij}^k = \begin{cases} \frac{(\tau_{ij})^\alpha (\eta_{ij})^\beta}{\sum_{u \in N_i^k} (\tau_{iu})^\alpha (\eta_{iu})^\beta} & j \in N_i^k \\ 0 & O.W \end{cases} \quad (2)$$

که در آن  $P_{ij}^k$  احتمال رفتن مورچه  $k$ -ام از گره  $i$  به گره  $j$  می‌باشد.  $N_i^k$  نشان دهنده گره‌هایی می‌باشد که مورچه  $k$  مجاز است از گره  $i$  به آن گره‌ها حرکت کند.  $\alpha$  و  $\beta$  به ترتیب ضرائب اهمیت فرومون و اطلاعات ابتکاری (اهمیت بینایی) می‌باشد.

### ۲-۳- فرومون‌ریزی و بروزرسانی آن

در ابتدا الگوریتم یک راه حل ایجاد می‌کند، سپس مورچه‌هایی که راه‌حل ایجاد کرده‌اند بر روی مسیر حرکت خود فرومون‌ریزی می‌کنند. در این الگوریتم دو نوع فرومون‌ریزی سراسری و محلی وجود دارد. در فرومون‌ریزی سراسری دو مورچه اجازه پخش فرومون بعد از هر تکرار بر

نتایج نشان دادند که الگوریتم پیشنهادی مؤثر و عملیاتی است (Yunfei et al, 2015). مارتین رید<sup>۹</sup> و همکارانش (۲۰۱۳) الگوریتم سیستم کلونی مورچگان را ارائه کردند که می‌تواند استفاده از وسایل نقلیه چند قسمتی را جهت انداختن زباله به بخش‌های مجزایی از جنس شیشه، کاغذ و غیره را مدلسازی کند. این الگوریتم منجر به ایجاد راه حل با کیفیت بالا برای دو مسئله آزمونی شد (Reed et al, 2014). عصمت زارعی رئیس آبادی و حمید میرمحمدی (۲۰۱۵)، دو الگوریتم متاهوریستیک را پیشنهاد کردند که شامل سیستم کلونی مورچگان با جستجوی‌های محلی و الگوریتم جستجوی ممنوعه مختص مسئله مسیریابی وسیله نقلیه وابسته به محل با پنجره زمانی نرم است (Zare-Reisabadi and Mirmohammadi, 2015). کوشیک و نکاتا ناراسیما<sup>۱۱</sup> و همکارانش (۲۰۱۳)، نوعی از مسئله مسیریابی وسایل نقلیه چند انباری حداکثری-حداکثری را ارائه کردند که هدف آن، به حداقل رساندن طول تور مسافرتی وسیله نقلیه در طولانی‌ترین مسافت در مسیریابی وسایل نقلیه با چند انبار با استفاده از یک رویکرد تفکیک برابر منطقه با هدف تعیین موقعیت مشتری به انبار است بطوری‌که مسیریابی با چند انبار به مسیریابی تک انبارهای ساده می‌شود.

این تحقیق نشان داد که روش پیشنهادی بهینه‌سازی کلونی مورچگان در مقایسه با روش مبتنی بر برنامه‌ریزی خطی، نتایج بهینه‌ای را به همراه دارد (Narasimha et al, 2013). بر اساس تحقیقات محمد عبدالقادر (۲۰۱۵)، الگوریتم هیبریدی که جستجوی محلی را با الگوریتم کلونی مورچگان موجود ترکیب می‌کند برای حل مسئله پیشنهاد شد که در آن؛ فرآورده‌های مختلف، همراه با یک وسیله نقلیه و با بخش‌های متعدد انتقال داده می‌شود. این فرآورده‌ها در قسمت‌های مختلف ذخیره سازی می‌شود چون آنها بدلیل تفاوت در ویژگی‌های خاص خود با هم ترکیب شوند. نتایج تحقیق نشان دادند که الگوریتم پیشنهادی در مقایسه با کلونی مورچگان موجود نتایج خوبی را به همراه دارد (Abdulkader et al, 2015).

$$f_r(x) = \frac{1}{t_{2i} - t_{1i}}(x - t_{1i}) \quad (5)$$

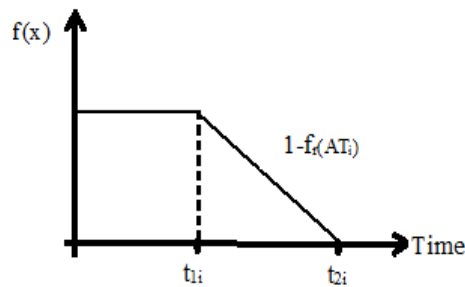
توزیع زمان سرویس رقیب به مشتریان می‌تواند با بکارگیری روش‌های احتمالی بدست آید. در این مسأله توزیع زمان رسیدن رقیب به مشتری  $i$  با توزیع یکنواخت نسبت داده می‌شود که احتمال سرویس دهی گره تا قبل از رقیبش به صورت معادله زیر است:

$$p(t_{ri} > AT_i) = 1 - f_r(AT_i) \quad (6)$$

بنابراین اگر زمان رسیدن رقیب به مشتری از توزیع یکنواخت پیروی کند، پس تابع چگالی (شدت) براساس توزیع یکنواخت  $f_r(x)$  است. دستیابی (رسیدن) وسیله نقلیه به مشتری  $i$  زودتر از رقیبش در شکل ۱ شرح داده شده است. اکنون احتمال دستیابی به مشتری  $i$  زودتر از رقیبش در زمان  $AT_i$  به صورت زیر محاسبه می‌شود (Tavakkoli-Mogaddam et al, 2011).

$$p(AT_i) = \begin{cases} 1 & \text{if } AT_i \leq t_{1i} \\ 1 - f_r(AT_i) & \text{if } t_{1i} \leq AT_i \leq t_{2i} \\ 0 & \text{if } AT_i \geq t_{2i} \end{cases} \quad (7)$$

با در نظر گرفتن این معادله اگر وسیله نقلیه به گره  $i$  در فاصله  $[0, t_{1i}]$  برسد پس قطعاً زودتر از رقیبش به مشتری دسترسی پیدا می‌کند. اگر وسیله نقلیه در فاصله  $[t_{1i}, t_{2i}]$  به گره  $i$  برسد با احتمال  $p(AT_i) = 1 - f_r(AT_i)$  زودتر از رقیبش به گره  $i$  سرویس خواهد داد. اگر وسیله بعد از  $t_2$  به گره  $i$  دست یابد با احتمال  $p(AT_i)$  برابر صفر زودتر از رقیبش به گره  $i$  دست خواهد یافت.



شکل ۱. احتمال سرویس دهی به گره  $i$  زودتر از رقیب

روی مسیر حرکتی را دارد. یک مورچه‌ای که بهترین مسیر را در هر تکرار بدست می‌آورد و مورچه‌ای که بهترین مسیر شناخته شده تاکنون را بدست آورده است. در فرمون‌ریزی محلی هر مورچه در مسیر حرکتی خود فرمون پخش می‌کند. رابطه ۳ مقدار فرمون‌ریزی در الگوریتم را محاسبه می‌کند.

$$\tau_{ij} = (1 - \rho)\tau_{ij} + \Delta\tau_{ij}^{best} + \Delta\tau_{ij}^{best} + \Delta\tau_{ij}^w \quad (3)$$

که در آن  $\tau_{ij}$  میزان فرمون موجود در مسیر  $(i,j)$  می‌باشد و  $\rho$  میزان تبخیر بوده و عددی بین صفر و یک می‌باشد.  $\Delta\tau_{ij}^{best} = \frac{Q_1}{L^{best}}$  و  $\Delta\tau_{ij}^{best} = \frac{Q_2}{LL^{best}}$  نشان‌دهنده فرمون سراسری و  $\Delta\tau_{ij}^w = \frac{Q_2}{L_{ij}^w}$  فرمون محلی می‌باشند، در روابط فوق  $Q_1$  و  $Q_2$  مقادیر ثابتی هستند.  $L^{best}$  طول بهترین مسیر بدست آمده از هر تکرار و  $LL^{best}$  طول بهترین مسیر پیدا شده تاکنون  $L_{ij}^w$  طول مسیر طی شده توسط مورچه  $w$  می‌باشد.

### ۳- فرمول‌بندی ریاضی مسأله

تقاضای هر مشتری به دو بخش تقسیم می‌شود. بخش اول:  $C_{ini}$  به زمان وابسته نمی‌باشد و باید به طور کامل به مشتری فرستاده شود. بخش دوم:  $C_{tdi}$  وابسته به زمان است و اگر زمان رسیدن رقیب زودتر از زمان رسیدن وسیله به مشتری باشد از دست خواهد رفت. معادله زیر رابطه بین عناصر تقاضا را نشان می‌دهد:

$$C_i = C_{ini} + C_{tdi} \quad (4)$$

معادله زیر تابع توزیع احتمال به واسطه زمان رسیدن رقیب به گره  $i$  را نشان می‌دهد:

بنابراین مقدار مورد انتظار تقاضای مشتری به صورت رابطه ۸ محاسبه می‌شود.

$$E(D_i) = \begin{cases} C_i & \text{if } AT_i \leq t_{1i} \\ C_{ini} + [1 - f_r(t_{di})]C_{tdi} & \text{if } t_{1i} \leq AT_i \leq t_{2i} \\ C_{ini} & \text{if } AT_i \geq t_{2i} \end{cases} \quad (8)$$

### ۳-۱- تابع هدف

نتیجه سود بیشتری کسب و باعث کاهش هزینه کل سفر می‌شود. این تابع هدف بیان می‌دارد که اگر فروشنده‌ای زودتر از رقیب به مشتری سرویس‌دهی کند کالای بیشتری می‌فروشد. قسمت دوم تابع هدف هزینه کل را تا حد قابل توجهی با فروش کالای زیاد و سود بیشتر پایین می‌آورد (Tavakkoli-Mogaddam et al, 2011).

در تابع هدف زیر قسمت اول مربوط به بهینه کردن مسافت سفر است، در این قسمت الگوریتم کوتاه‌ترین مسیر ممکن را با توجه به توابع محدودیت پیدا می‌کند. قسمت دوم تابع هدف مربوط به فروش کالا می‌باشد بدین صورت که اگر وسیله نقلیه زودتر از بازه زمانی به مشتری رسید به دلیل بعد رقابتی که با دیگر فروشنده‌ها دارد، کالای بیشتر فروخته و در

$$\min \sum_{i=1}^{nVar} \sum_{j=1}^{nVar} \sum_{k=1}^J DD_{ij} x_{ij}^k - W \left( \sum_{i=1}^{nVar} \left( O_i C_{tdi} + q_i \left( \frac{t_{2i} - AT_i}{t_{2i} - t_{1i}} \right) C_{tdi} \right) \right) \quad (9)$$

### ۳-۲- توابع محدودیت

$$\sum_{i=1}^{nVar} \sum_{k=1}^J x_{ij}^k = 1 \quad j = 2, \dots, nVar \quad (10)$$

$$\sum_{j=1}^{nVar} \sum_{k=1}^J x_{ij}^k = 1 \quad j = 2, \dots, nVar \quad (11)$$

$$\sum_{i=1}^{nVar} x_{ip}^k - \sum_{i=1}^{nVar} x_{ij}^k = 0 \quad (12)$$

$$p = 1, 2, \dots, nVar$$

$$k = 1, 2, \dots, J$$

$$\sum_{j=2}^{nVar} x_{i0}^k = 1 \quad k = 1, 2, \dots, J \quad (13)$$

$$AT_i = \sum_{i=1}^{nVar} AT_i \sum_{k=1}^J x_{ij}^k + \sum_{i=1}^{nVar} \sum_{k=1}^J (t_i^k + t_{ij}^k) x_{ij}^k \quad (14)$$

$$j = 1, 2, \dots, nVar$$

$$\sum_{i=2}^{nVar} (C_i - C_{tdi}z_i) \sum_{j=1}^{nVar} x_{ij}^k \leq k_k \quad (15)$$

$$k = 1, 2, \dots, J \quad i = 1, 2, \dots, nVar$$

$$(t_{1i} - AT_i) - M(y_i) \leq 0 \quad (16)$$

$$(t_{2i} - AT_i) + M(z_i) \geq 0 \quad (17)$$

$$z_i + y_i = 1 \quad (18)$$

$$(t_{2i} - AT_i) + M(1 - g_i) \geq 0 \quad (19)$$

$$i = 1, 2, \dots, nVar$$

$$(t_{1i} - AT_i) + M(1 - o_i) \geq 0 \quad (20)$$

$$(t_{1i} - t_i) - M(\varpi_i) \leq 0 \quad (21)$$

$$g_i + \varpi_i = 1 \quad (22)$$

$$x_{ij}, o_i, y_i, z_i, g_i, \varpi_i \in [0,1] \quad t_i \geq 0 \quad t_1 = 0 \quad (23)$$

#### ۴- پیاده‌سازی الگوریتم پیشنهادی

هدف از ارائه نتایج محاسباتی نشان دادن کارایی مسأله و الگوریتم بهینه‌سازی جامعه مورچگان در مقاله حاضر می‌باشد. پس از اعتبارسنجی و اثبات این که الگوریتم مورچگان کارایی خوبی نسبت به این مسأله دارد. الگوریتم را برای روش توسعه یافته‌ای از VRPTW به کار برده شد.

#### ۴-۱- تحلیل حساسیت

الگوریتم پیشنهادی برای حل مسأله VRPTW با محدودیت ظرفیت توسط نرم افزار متلب (Matlab 7.1) کدنویسی شده است. اجرای این الگوریتم توسط یک لپ تاپ با مشخصات رم ۴ گیگا بایت و چهار هسته‌ای و CPU 2.5GHz انجام شده است. پس از تحلیل حساسیت و تکرار الگوریتم برای  $\alpha$  و  $\beta$  به این نتیجه حاصل شد که مقدار این دو پارامتر بهتر است یک قرار داده شود. همچنین مقدار ضریب تبخیر ( $\rho$ ) را برابر ۰/۰۵ و تعداد مورچه و تعداد تکرار هر دو برابر ۱۰۰ در نظر گرفته شد. مقاله حاضر برای تعداد محدودی از مسائل سالمون بکار برده شده است. تمامی مسائل و بهترین جواب‌های شناخته شده تاکنون از <http://neo.lcc.uma.es/radi-aeb/WebVRP/> مرجع

قیدهای ۱۰ و ۱۱ اطمینان می‌دهند که هر محل مشتری تنها توسط یک وسیله نقلیه سرویس‌دهی شده است. معادله ۱۲ بیان می‌کند که اگر یک وسیله نقلیه به یک گره برسد باید آن را ترک کند و بدین وسیله پیوستگی مسیریابی تضمین می‌شود. معادله ۱۳ تضمین می‌کند که انبار، اولین و آخرین مقصد هر وسیله نقلیه است. معادله ۱۴ زمان دستیابی به مشتری  $i$  را بیان می‌کند. معادله‌های ۱۵ تا ۱۸ چنین مقرر می‌دارند که اگر وسیله  $k$  به مشتری  $i$  زودتر از زمان  $t_{2i}$  دست یابد در این حالت باید تمام تقاضای مشتری را حمل کند در غیر این صورت فقط  $C_{ini}$  را برای مشتری حمل می‌کند. علت این امر از این قرار می‌باشد که، اگر وسیله نقلیه زودتر از  $t_{2i}$  به مشتری دستیابی کند (برسد) ممکن است که به مشتری زودتر از رقیبش برسد و  $C_{tdi}$  (تقاضای وابسته زمانی گره  $i$ ) را به مشتری تحویل می‌دهد و اگر بعد از  $t_{2i}$  به مشتری رسید مقدار  $C_{tdi}$  به مشتری برده نمی‌شود. در توابع ۱۹ تا ۲۲ به بخشی از تابع هدف که مقدار فروش را حداکثر می‌کند مرتبط می‌باشد. پارامترهای ۲۳ متغیرهای مدل را تعریف می‌کند (Dorigo and Socha, 2007 and Tavakkoli-Mogaddam et al, 2011 and Ren et al, 2010 and Heilporn et al, 2010)

#### ۴-۲- اعتبارسنجی الگوریتم و حل مسأله VRPTW

این قسمت به منظور اعتبارسنجی الگوریتم مورچگان و نشان دادن این که الگوریتم مورچگان از کارایی خوبی برای حل مسأله VRPTW برخوردار است، می باشد و نتایج حاصل با نتایجی که قبلاً به دست آمده مقایسه می شود. تابع هدف بصورت رابطه ۲۴ تعریف می شود.

$$\min \sum_{i=1}^{nVar} \sum_{j=1}^{nVar} \sum_{k=1}^J DD_{ij} x_{ij}^k \quad (24)$$

بیاورد. مستطیل زرد رنگ در وسط شکل انبار می باشد که وسایل نقلیه حرکت خود را از انبار شروع و پس از سرویس دهی به مشتریان دوباره به انبار برمی گردند. وسایل نقلیه بخاطر رعایت محدودیت های اعمالی بر روی مسأله مانند پنجره زمانی در حین حرکت، مسیر حرکتی خود و حتی دیگر وسایل نقلیه را قطع می کنند. شکل های زیر مربوط به مسیریابی وسایل نقلیه برای مسائل R104 و R106 و R203 و R208 می باشد، که در آن هر وسیله نقلیه با توجه به محدودیت های مسئله و رعایت آنها به مشتری ها سرویس دهی می کنند.

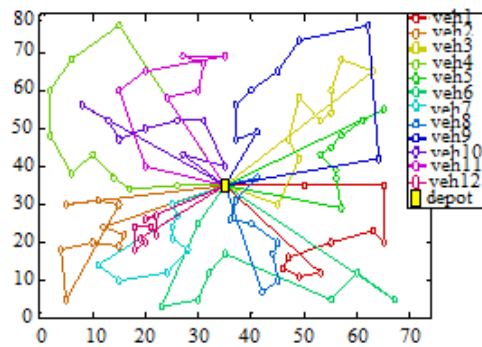
بدست آمده است. در مقاله حاضر نتایج حاصل به دو قسمت تقسیم شده است، که به آن اشاره خواهد شد.

- مسأله VRPTW با محدودیت ظرفیت بصورت کلاسیک
- روش توسعه یافته ای از مسأله VRPTW

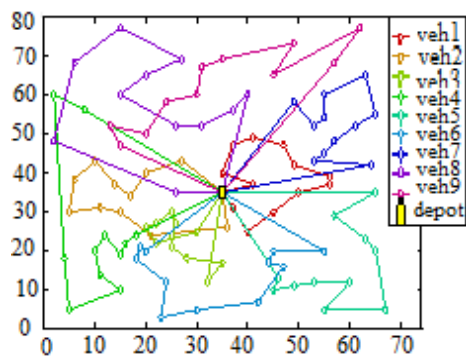
در تابع هدف فوق  $DD_{ij}$  هزینه سفر از مسیر  $i$  به مسیر  $j$  (منظور از هزینه سفر همان مسافت بین دو گره (مشتری)  $i$  و  $j$  از هم می باشد) و  $x_{ij}^k$  متغیر تصمیم گیری می باشد. منظور از تابع هدف حداقل کردن مسافت حرکت وسایل نقلیه می باشد به شرطی که محدودیت های مسأله VRPTW نقض نشود. الگوریتم مورچگان با ۱۰۰ مشتری و ۱۰۰ مورچه در ۱۰۰ تکرار برای بخشی از مسائل سالمون بکار برده شد که نتایج حاصل بصورت زیر به دست می آید: نتایج بدست آمده از اجرای الگوریتم برای ۹ مسأله نشان می دهد، به جز ۳ مسأله در بقیه مسائل الگوریتم توانسته نتایج بسیار خوبی را بدست

جدول ۱. نتایج الگوریتم مورچگان برای ۱۰۰ مشتری

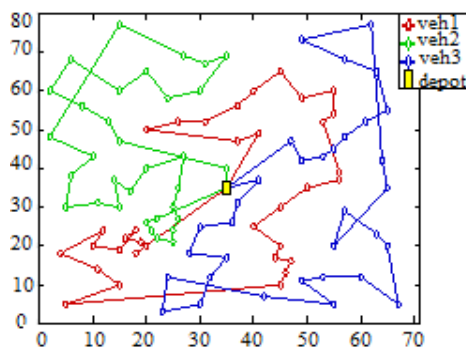
نوع مسئله	تعداد وسایل نقلیه	بهترین جواب شناخته شده قبلی	جواب الگوریتم پیشنهادی	درصد اختلاف	زمان حل (s)
R102	۱۷	۱۴۸۶,۱۲	۱۴۹۰,۲۵	۰,۲۸	۲۲
R103	۱۳	۱۲۹۲,۶۸	۱۲۸۵,۲۸	-۰,۵۷	۲۲,۴
R104	۹	۱۰۰۷,۲۴	۱۰۸۶,۶۴	۷,۸۸	۲۰,۳
R106	۱۲	۱۲۵۱,۹۸	۱۲۴۹,۵۹	-۰,۱۹	۲۱,۹
R203	۳	۹۳۹,۵۴	۸۴۱,۶	-۱۰,۴۲	۱۸,۴۳
R204	۲	۸۲۵,۲۵	۸۱۱,۲۲	-۱,۷	۱۸,۱۱
R206	۳	۹۰۶,۱۴	۸۴۸,۳۷	-۶,۳۷	۱۸,۵۶
R207	۲	۸۹۳,۳۳	۸۲۲,۷۵	-۷,۹	۱۸,۱۹
R208	۲	۷۲۶,۷۵	۷۴۳,۲	۲,۲۶	۱۸,۰۵
جمع	۶۶	۹۳۲۹,۰۳	۹۱۷۸,۹		۱۷۷,۹۴



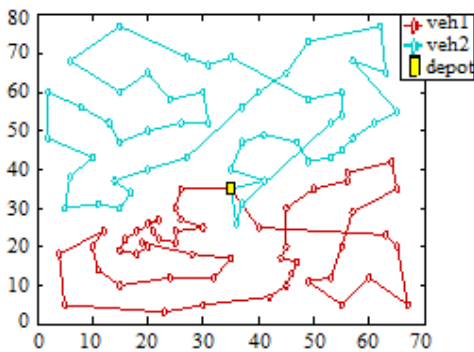
شکل ۲. مسیریابی برای مسأله R106 با ۱۰۰ مشتری



شکل ۳. مسیریابی برای مسأله R104 با ۱۰۰ مشتری



شکل ۴. مسیریابی برای مسأله R203 با ۱۰۰ مشتری



شکل ۵. مسیریابی برای مسأله R208 با ۱۰۰ مشتری

### ۴-۳- حل مسأله و تحلیل نتایج برای روش توسعه یافته‌ای از VRPTW

مقاله حاضر این تقاضا بصورت ۲۵ درصد از تقاضای مستقل زمانی هر مشتری در نظر گرفته شده است که می‌تواند برحسب نظر کارفرما و صاحبان کارخانه تغییر کند. الگوریتم مورچگان را با ۱۰۰ مشتری و تعداد ۱۰۰ مورچه در ۱۰۰ تکرار برای بخشی از مسائل سالمون بکار برده شد که نتایج حاصل بصورت زیر به دست می‌آید: جواب‌های به دست آمده از اجرای الگوریتم برای ۱۰۰ مشتری در جدول ۲ نشان داده شده است. جدول مذکور بیانگر این نکته است که در تمامی موارد هزینه سفر کاهش یافته است. دلیل این همه کاهش هزینه سفر مربوط به قسمت دوم تابع هدف می‌باشد، که بخاطر فروش بیشتر نسبت به رقیب، سود بیشتری عاید فروشنده شده و هزینه سفر بخاطر فروش بیشتر کاهش می‌یابد.

در این نوع از مسأله تابع هدف در دو حالت ارائه شده است: حالت اول هزینه کل سفر را حداقل کرده و حالت دوم فروش را در موقعیت رقیب حداکثر می‌کند. در هر مسأله دو تابع هدف به یک تابع هدف توسط وزن کردن هر حالت تغییر می‌یابند. وزن دو حالت بستگی به نظر کارفرما دارد که تشخیص دهد به کدام حالت وزن بیشتری بدهد تا سوددهی افزایش یابد. برحسب وزنی که به این دو حالت تابع هدف لحاظ می‌شود در عین حال که الگوریتم دارای جواب‌های متفاوتی خواهد بود نحوه بهینه‌سازی الگوریتم نیز فرق خواهد کرد. در مقاله حاضر وزن هر دو حالت را برابر یک در نظر گرفته شده است. الگوریتم پیشنهادی نیز به نحوی طراحی شده است که همزمان با کاهش مسافت طی شده مقدار فروش را نیز بالا می‌برد و این از لحاظ سوددهی برای کارفرما مناسب‌تر است. در مورد تقاضای وابسته زمانی در

$$\min \sum_{i=1}^{nVar} \sum_{j=1}^{nVar} \sum_{k=1}^J DD_{ij} x_{ij}^k - W \left( \sum_{i=1}^{nVar} \left( O_i C_{tdi} + q_i \left( \frac{t_{2i} - AT_i}{t_{2i} - t_{1i}} \right) C_{tdi} \right) \right) \quad (9)$$

جدول ۲. نتایج حاصل از اجرای الگوریتم مورچگان برای روش توسعه یافته‌ای از VRPTW با ۱۰۰ مسئله

نوع مسئله	تعداد وسایل نقلیه	بهترین جواب شناخته شده قبلی	جواب الگوریتم پیشنهادی	درصد اختلاف	زمان حل (s)
R102	۱۷	۱۴۸۶,۱۲	۱۲۱۵,۰۰۶	-۱۸,۲۴	۲۲
R103	۱۳	۱۲۹۲,۶۸	۱۰۹۸,۸۸	-۱۴,۹۹	۲۲,۴
R104	۹	۱۰۰۷,۲۴	۹۲۸,۲۸	-۷,۸۴	۲۰,۳
R106	۱۲	۱۲۵۱,۹۸	۹۷۸,۸۴	-۲۱,۸۲	۲۱,۹
R203	۳	۹۳۹,۵۴	۶۷۸,۱۱	-۲۷,۸۳	۱۸,۴۳
R204	۲	۸۲۵,۲۵	۷۱۹,۹۹	-۱۲,۷۶	۱۸,۱۱
R206	۳	۹۰۶,۱۴	۶۰۹,۷	-۳۲,۷۲	۱۸,۵۶
R207	۲	۸۹۳,۳۳	۶۶۹,۲۵	-۲۵,۰۸	۱۸,۱۹
R208	۲	۷۲۶,۷۵	۶۵۱,۹۵	-۱۰,۲۹	۱۸,۰۵
جمع	۶۶	۹۳۲۹,۰۳	۸۱۶۹,۰۷۶		۱۷۷,۹۴



## ۵- نتیجه گیری

مورچه‌ای که بهترین مسیر را در هر تکرار و مورچه‌ای که بهترین مسیر شناخته شده تاکنون را بدست آورده‌اند، اجازه پخش فرمون را دارند. در فرمون‌ریزی محلی نیز هر مورچه روی مسیر حرکتی خود فرمون ریزی می‌کند.

مسئله مسیریابی وسایل نقلیه با هدف حداقل کردن هزینه با محدودیت پنجره زمانی و محدودیت ظرفیت توسط الگوریتم مورچگان اجرا شد. برای اعتبارسنجی و اثبات کارایی، الگوریتم جامعه مورچگان بر روی مسئله فوق پیاده شد که نتایج بدست آمده از اجرای الگوریتم برای ۱۰۰ مشتری نشان داد، الگوریتم از ۹ مسئله حل شده در ۶ مسئله توانسته بهترین جواب‌های شناخته شده را بهبود دهد. پس از اعتبارسنجی الگوریتم و اثبات کارایی‌اش، الگوریتم بر روی روش توسعه یافته‌ای از مسئله مسیریابی وسایل نقلیه به کار برده شد. اجرای الگوریتم بر روی این مسئله نشان داد که اضافه کردن قسمت دوم به تابع هدف اصلی باعث کاهش هزینه می‌شود بطوری که در تمامی مسائل هزینه کاهش یافته و این بخاطر فروش بیشتر محصولات در موقعیت رقیب است. بحث جدید دیگر این مقاله، در نظر گرفتن نوع جدیدی از فرمون‌ریزی و ارائه تابع هدف توسعه یافته‌ای برای مسئله VRPTW می‌باشد. دو فرمون‌ریزی سراسری و یک فرمون‌ریزی محلی در این الگوریتم به کار رفته است. در فرمون‌ریزی سراسری

## ۶- پی‌نوشت‌ها

1. Vehicle Routing Problem
2. Ant System Max-Min
3. Gurpreetsingh
4. Vijay Dhir
5. Schyns
6. Yunfei
7. Ant Colony Optimization
8. Ito
9. Martin Reed
10. Koushik Venkata Narasimha
11. Solomon
12. [Http://Neo.Lcc.Uma.Es/Radi-Aeb/Webvrp/](http://Neo.Lcc.Uma.Es/Radi-Aeb/Webvrp/)

## ۷- مراجع

vehicle routing problem", *Advanced Engineering Informatics* 18, pp. 41-48.

-Koushik Venkata Narasimha, Elad Kivelevitch, Balaji Sharma, Manish Kumar, (2013), "An ant colony optimization technique for solving min-max Multi- Depot Vehicle Routing Problem", *Accepted 6 May, Swarm and Evolutionary Computation* 13, pp. 63-73.

-Marco Dorigo and Krzysztof Socha, (2007), "An Introduction to Ant Colony Optimization, IRIDIA -Technical Report Series ISSN 1781-3794", April 30.

-Marcus E. McNabb, Jeffery D. Weir, Raymond R. Hill, Shane N. Hall, (2015), Testing local search move operators on the vehicle routing problem with split deliveries and time windows, Available online 26 November, *Computers & Operations Research* 56, pp.93-109.

-Esmat Zare-Reisabadi, S. Hamid Mirmohammadi, (2015), Site dependent vehicle routing problem with soft time window: Modeling and solution approach, *Accepted 2 September, Computers & Industrial Engineering* 90 pp.177-185.

-Er. Gurpreet Singh, Dr. Vijay Dhir, (2014), "Open Vehicle Routing Problem by Ant Colony Optimization", *International Journal of Advanced Computer Science and Applications*, Vol. 5, No. 3.

-<http://neo.lcc.uma.es/radi-aeb/WebVRP>.

-Geraldine Heilporn, JeanFrancois Cordeau, Gilbert Laporte, (2010), "The Delivery Man Problem with Time Windows, *Discrete Optimization*, Volume 7, Issue 4, November, PP. 269-282.

-John E. Bell, Patrick R. McMullen, (2004), "Ant colony optimization techniques for the

- Yingtao Ren, Maged Dessouky, and Fernando Ordóñez, (2010), "The Multi-shift Vehicle Routing Problem with Overtime, Daniel J. Epstein Department of Industrial and Systems Engineering University of Southern California", Vol. 37 Issue 11, November, pp.1987-1998.
- Zhang Xiao, Wang Jiang-qing, (2012), "Hybrid Ant Algorithm and Applications for Vehicle Routing Problem", International Conference on Solid State Devices and Materials Science, Physics Procedia 25, pp.-1892-1899.
- Yi Yunfei, Lin Xiaodong, Sheng Kang, and Cai Yongle, 2015, An Improved Ant Colony Algorithm to Solve Vehicle Routing Problem with Time Windows, Springer International Publishing Switzerland 2015, D.-S. Huang et al. (Eds.): ICIC 2015, Part I, LNCS 9225, pp. 11-22, 2015.
- Martin Reed, Aliko Yiannakou, Roxanne Evering, (2014), "An ant colony algorithm for the multi-compartment vehicle routing problem", Accepted 23 October, Applied Soft Computing 15, pp.169-176.
- M.Schyns, (2015), "An ant colony system for responsive dynamic vehicle routing, Accepted 6 April", European Journal of Operational Research 245, pp.704-718.
- Mohamed M.S. Abdulkader, Yuvraj Gajpal, Tarek Y. ElMekkawy, 2015, Hybridized ant colony algorithm for the Multi Compartment Vehicle Routing Problem, Accepted 11 August 2015, Applied Soft Computing 37 pp.196-203.
- R.Tavakkoli-Mogaddam, M. Alinaghian, A. Salamatbakhsh, N. Norouzi, (2011), "A new mathematical model for a competitive vehicle routing problem with time windows solved by simulated annealing", Journal of Manufacturing Systems Volume 30, Issue 2, April 2011, pp. 83-92.