چهاردهمین کنفرانس بین المللی
مهندسی حمل و نقل و ترافیک
The 14th International
Conference on Traffic and
Transportation Engineering

حل مسئله مسیریابی وسیله‌نقلیه همراه با تحویل و بارگیری همزمان با استفاده از الگوریتم ژنتیک

علی‌محمد شهدایی[۱]، امیرمسعود رحیمی[۲]، محمدرضا احدی[۳]

۱- دانشجوی کارشناسی ارشد راه و ترابری، دانشکده فنی و مهندسی، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد زنجان

۲- استادیار گروه عمران، دانشکده مهندسی، دانشگاه زنجان

۳- استادیار پژوهشی گروه ایمنی، پژوهشکده حمل و نقل، مرکز تحقیقات راه، مسکن و شهرسازی

چکیده

امروزه با توجه به روند افزایشی جمعیت و توسعه شهرها و به دنبال آن افزایش عرضه و تقاضای خدمات، حمل‌ونقل و مسائل مربوط به آن اهمیت بسزایی پیدا کرده است. از طرفی شرکت‌های تولیدی روزانه با امر توزیع و تحویل کالا مواجه می‌باشند لذا یکی از مسائل مهم در بحث حمل‌ونقل که مورد توجه بسیاری از محققین قرار گرفته است، مسئله مسیریابی وسیله‌نقلیه می‌باشد. در این پژوهش مسئله مسیریابی وسیله‌نقلیه همراه با تحویل و بارگیری همزمان[۱] فرموله شده است که در آن علاوه بر تحویل کالا به مشتریان، بارگیری از آنان نیز صورت می‌گیرد. برای حل، یک الگوریتم ژنتیک جدید پیشنهادی ارائه شده است. در این الگوریتم دو نوع عملگر تقاطع و دو نوع عملگر جهش با ویژگی‌های جدید طراحی شده که در طی فرآیند، قابلیت تعویض با یکدیگر را دارند و کارآیی مؤثر آن نشان داده شده است. به منظور ارزیابی این الگوریتم، نتایج بدست آمده از روش پیشنهادی با نتایج مسائل استاندارد آزمایش شده گذشته مقایسه گردید که مشخص شد در بیش از ۱۳ درصد مسائل با مقیاس کوچک، نتایج بهبود می‌یابند.

کلید واژه: *حمل‌ونقل، توزیع و تحویل کالا، مسئله مسیریابی وسیله‌نقلیه همراه با تحویل و بارگیری همزمان، الگوریتم ژنتیک.*

---

۱ دانشجوی کارشناسی ارشد مهندسی عمران گرایش راه و ترابری، ۰۳۴-۳۲۱۲۰۶۲۳، a.shahdaei@azu.ac.ir

۲ استادیار گروه عمران، ۰۲۴-۳۳۰۵۴۰۵۰، amrahimi@znu.ac.ir

۳ استادیار گروه ایمنی، ۰۲۱-۸۸۲۵۵۹۴۲، ahadireza@yahoo.com

www.jozve.org

۱- مقدمه

یکی از مهمترین مسائلی که در بخش حمل‌ونقل همیشه مورد اهمیت قرار می‌گیرد، پیدا کردن مسیری است که حداقل مسافت و حداقل زمان سفر را داشته باشد. مسأله مسیریابی وسیله‌نقلیه یکی از مسائل بهینه‌سازی ترکیبی است که امروزه بسیار مورد توجه قرار می‌گیرد. این مسئله تحویل کالاها را به یک مجموعه مشتریان با تقاضاهای مشخص در مسیرهایی که با کمترین هزینه از انبار شروع و به آن ختم می‌شوند را مورد بررسی قرار داده است. از طرفی، در چند دهه اخیر اهمیت تدارکات رفت و برگشتی افزایش قابل توجه داشته است. تلاشهای زیادی برای تحویل و بارگیری همزمان انجام شده که نتیجتاً مشتریان فقط یک‌بار سرویس‌دهی شوند. این طرح، مسئله مسیریابی وسیله‌نقلیه با تحویل و بارگیری همزمان[۱] نامیده می‌شود که با برخی از کاربردهای آن مرتباً مواجه هستیم: به عنوان مثال در سیستم یک زنجیره مغازه خواربارفروشی، هر خواربارفروش باید یک تقاضا هم برای تحویل (مانندتحویل غذای تازه، نوشیدنی و...) و هم برای بارگیری (مانند بارگیری مواد منقضی شده یا بطری‌های خالی) داشته باشد و توسط تأمین‌کننده و با یک بار ایستادن، سرویس‌دهی شود. مسئله مسیریابی وسیله‌نقلیه با تحویل و بارگیری‌های همزمان، که توزیع و جمع‌آوری کالاها از/ به مشتریان را بررسی می‌کند، بسط و توسعه مسئله مسیریابی وسیله‌نقلیه می‌باشد.

با توجه به محدودیت‌های موجود، مسئله مسیریابی وسیله‌نقلیه انواع مختلفی دارد؛ مسئله مسیریابی وسیله نقلیه با چندین دپو[۲]، یکی از انواع این مسئله است که در آن چند دپو وجود دارد[۱]. نوع دیگر، مسئله مسیریابی وسیله‌نقلیه با پنجره زمانی[۳] است که یکی از پرکاربردترین مسائل است[۲]. در این مسئله سرویس‌دهی به مشتریان بایستی در پنجره زمانی مشخصی صورت گیرد. در سرویس‌دهی به مشتریان به صورت تحویل و بارگیری دو استراتژی وجود دارد که دو نوع مسئله مسیریابی وسیله-نقلیه در بازگشت[۴] و مسئله مسیریابی وسیله نقلیه همراه با تحویل و بارگیری همزمان را ایجاد می-نماید[۳]. در مسئله مسیریابی وسیله‌نقلیه در بازگشت، ابتدا تحویل کالاها به همه مشتریان صورت می‌گیرد و سپس در بازگشت از مسیر، بارگیری انجام می‌شود[۴]. به علت تحمیل هزینه اضافی برای

---

۱ vehicle routing problem with simultaneous pick-up and delivery
2 multi depot vehicle routing problem
3 vehicle routing problem with time window
4 vehicle routing problem with backhauls

www.jozve.org

تحویل و بارگیری مجزا، مسئله مسیریابی وسیله نقلیه با تحوبل و بارگیری همزمان مطرح گردید. این مسئله ابتدا توسط مین در سال ۱۹۸۹ میلادی معرفی شد. مطالعات او به بررسی مسئله توزیع عمومی یک کتابخانه عمومی با ۲۲ کتابخانه فرعی و دو وسیله‌نقلیه پرداخت[۵]. جندرا و همکاران در ابتدا مسئله مسیریابی وسیله نقلیه همراه با تحویل و بارگیری همزمان را برای یک وسیله‌نقلیه برای حل مسئله فروشنده دوره‌گرد مطالعه کردند؛ سپس مسیریابی مسئله فروشنده دوره‌گرد با تحویل و بارگیری را سازماندهی نمودند[۶]. دتلوف رابطه بین مسئله مسیریابی وسیله نقلیه همراه با تحویل و بارگیری همزمان و سایر انواع مسائل مسیریابی را مورد بررسی قرار داد و یک فرمول ریاضی برای این مسئله ارائه نمود[۷]. او ۴۰ نمونه را برای آزمایش در الگوریتم پیشنهادیش توسعه داد و نتایج آن را با نتایج سالحی و ناگی[۸] مقایسه نمود. همچنین در مورد رابطه مسئله مسیریابی وسیله نقلیه همراه با تحویل و بارگیری همزمان و مسئله مسیریابی وسیله‌نقلیه در بازگشت بحث نمود[۹]. مطالعات زیادی راجع به مسئله تحویل و بارگیری همزمان صورت گرفت[۱۰و۱۱]. ناگی و سالحی یک روش بر پایه الگوریتم ابتکاری برای حل این مسئله پیشنهاد کردند [۱۲]. زاچاریادیس و همکاران یک روش حافظه انطباقی برای این مسئله توسعه دادند[۱۳]. همچنین یک روش ابتکاری سازنده برای تهیه جوابهای اولیه مناسب توسط الگوریتم ژنتیک توسط توت و ویگو ارائه گردید[۱۴]. تانگ و همکاران یک مدل ریاضی برای این مسئله پیشنهاد دادند و آن را به طور مجزا با الگوریتم ابتکاری و بهبود یافته برای مسئله فروشنده دوره گرد با تحویل و بارگیری همزمان حل نمودند [۱۵]. آنها توانستند یک مدل ریاضی برای مسئله مسیریابی وسیله نقلیه همراه با تحویل و بارگیری همزمان با محدودیت در مسافت ایجاد کرده و آن را با استفاده از الگوریتم جستجوی تابو و الگوریتمهای محلی ترکیبی حل نمودند[۱۶].

مسئله مسیریابی وسیله نقلیه، یک مسئله "ان پی- سخت"[1] است؛ بدین معنی که با افزایش بزرگی مسئله، تلاشهای محاسباتی افزایش و محاسبات پیچیده‌تر می‌شود و نمی‌توان آنها را با الگوریتمهای دقیق حل نمود. در ابتدا الگوریتمهای ابتکاری[2] مطرح شدند[۱۷]. ولی استفاده از آنها به علت محاسبات طولانی مناسب نبود[۱۸و۱۹]. در سالهای اخیر از الگوریتمهای فرا ابتکاری[3] برای حل این مسائل استفاده شده است. از جمله مشهورترین الگوریتمهای فرابتکاری، الگوریتم ژنتیک می‌باشد که در ابتدا توسط جان هالند و همکارانش در سال ۱۹۷۵ میلادی ابداع شد. این الگوریتم در سالهای

[1] np-hard
[2] heuristic
[3] meta heuristic

www.jozve.org

اخیر برای بسیاری مسائل بکار رفته است. هسیاو فن وانگ و همکاران یک مدل برنامه‌ریزی یکپارچه دودویی برای مسئله تحویل و بارگیری همزمان با پنجره زمانی توسعه دادند که در آن یک الگوریتم ژنتیک تکاملی مشترک با انواع روش‌های کم‌هزینه‌ترین جای‌گزاری برای تسریع در حل فرآیند پیشنهاد شده است[۲۰]. سردار تاسان و همکاران یک روش جایگزین برای حل مسئله مسیریابی وسیله نقلیه همراه با تحویل و بارگیری همزمان معرفی می‌نمایند. همچنین یک الگوریتم ژنتیک بر پایه روشی برای این مسئله پیشنهاد می‌کند که در آن به جای بازنمایی دودویی، بازنمایی تبدیلی به عنوان ژنتیک به کار برده شده است[۲۱]. جانش و همکاران مسئله مسیریابی وسیله‌نقلیه با تحویل و بارگیری را هدف‌گیری می‌کنند و یک روش ابتکاری مفید چندوجهی را معرفی می‌نمایند که نقاطی را بر اساس مجاورت و نزدیکی دسته‌بندی می‌کند. برای جستجوی نهایی پرقدرت، یک الگوریتم ژنتیک بکار رفته است[۲۲].

هدف از این مطالعه معرفی یک روش جایگزین برای حل مسئله مسیریابی وسیله‌نقلیه با تحویل و بارگیری‌های همزمان است. این مطالعه یک الگوریتم ژنتیک با ویژگی‌های جدید پیشنهاد می‌کند که بر اساس آن بتوان نتایج گذشته را بهبود داد.

ادامه مقاله به این ترتیب برنامه‌ریزی شده است: در بخش دوم، فرمولهای ریاضی و جزئیات مسئله مسیریابی وسیله نقلیه همراه با تحویل و بارگیری همزمان ارائه شده است. در بخش سوم، جزئیات روشهای پیشنهاد شده معرفی شده است. یک مثال تصویری در بخش چهارم داده شده و در بخش پنجم، اجرای روش پیشنهادی با چندین آزمایش ارزیابی و نتایج مورد بحث قرار گرفته است؛ در نهایت در بخش ششم، نتیجه گیری به همراه پیشنهاداتی جهت آینده ارائه شده است.

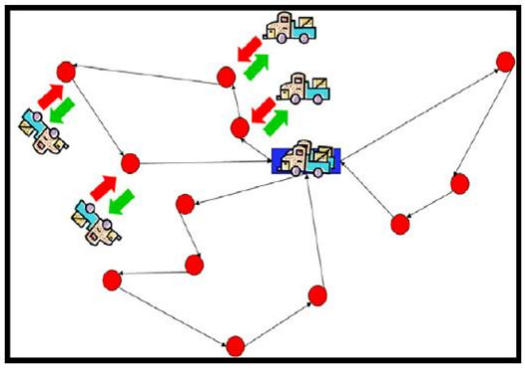
۲- توصیف مسئله مسیریابی وسیله نقلیه همراه با تحویل و بارگیری همزمان

در این مسئله مانند مسئله مسیریابی وسیله نقلیه در بازگشت، امکان این‌که مشتریان بعضی از کالاها را برگردانند نیز در نظر گرفته شده است، اما تفاوت آنها در این است که در مسئله مسیریابی وسیله نقلیه همراه با تحویل و بارگیری همزمان کالاهایی که از مشتریان تحویل گرفته می شود به مشتری دیگری در طول مسیر تحویل داده می شود و دپو بازگردانده نمی‌شود.

هدف در این مسأله حداقل نمودن جریان وسایل‌نقلیه و مجموع زمان سفر می‌باشد. یک جواب را برای این مسأله موجه گویند هرگاه مقدار کل کالایی که به یک مسیر تخصیص داده شده از ظرفیت وسیله-

www.jozve.org

نقلیه مفروض تجاوز ننماید و وسیله‌نقلیه ظرفیت کافی برای تحویل کالا از مشتریان داشته باشد (شکل ۱).



شکل ۱: *تصویری از مسئله مسیریابی وسیله‌نقلیه همراه با تحویل و بارگیری همزمان کالا [۲۱]*

۳- جزئیات مسئله ارائه شده و روش حل پیشنهادی

۳-۱- تعریف مسئله – ایجاد یک جواب موجه

الگوریتم ژنتیک به عنوان یک الگوریتم محاسباتی بهینه‌سازی با در نظر گرفتن مجموعه‌ای از نقاط فضای جواب در هر تکرار محاسباتی، به نحو مؤثری نواحی مختلف فضای جواب را جستجو می‌کند. در الگوریتم ژنتیک باید فضای طراحی[1] که شامل جوابهای مختلف مسئله باشد به فضای ژنتیک[2] تبدیل شود. بنابراین الگوریتم ژنتیک با یک سری از متغیرهای کُدشده کار می‌کند. برای اینکه بتوان از الگوریتم ژنتیک استفاده نمود و عملگرهای متفاوت آن را بر روی فضای طراحی اعمال نمود تا نسل-های بعدی به تدریج بهبود یابند، باید این فضای طراحی را به فرم استانداردی در آورد. برای این منظور هر یک از جواب‌های مسئله به صورت یک رشته در نظر گرفته می‌شوند که کروموزوم[3] نامیده می‌شود. در واقع هر کروموزوم رشته‌ای است که حاوی اطلاعات مربوط به جواب مسئله می‌باشد. به مجموعه‌ای از این کروموزوم‌ها که نشان دهنده یک مجموعه جواب مسئله می‌باشند؛ جمعیت[4] اطلاق

[1] design space
[2] genetic space
[3] chromosome
[4] population

www.jozve.org

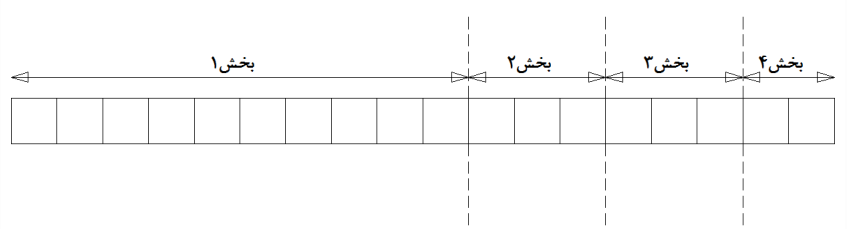
می‌شود. هر کروموزوم شامل تعدادی ژن[1] می‌باشد که هر یک از این ژن‌ها نشان دهنده یک ویژگی خاص از جواب مسئله می‌باشند.

به منظور تأمین مفروضات مسئله مسیریابی وسیله‌نقلیه همراه با تحویل و بارگیری، در روش پیشنهادی جواب به صورت یک کروموزوم چهاربخشی مطابق با شکل ۲ در نظر گرفته می‌شود:

بخش اول، شماره گره مشتریان را مشخص می‌کند. در این بخش شماره گره‌های اولیه مربوط به شماره دپوها می‌باشد و بدین جهت، شماره گره مشتریان، از (۱+ تعداد دپو) تا (تعداد مشتریان + تعداد دپو) می‌باشد؛ بنابراین در مسئله تک دپویی، شماره گره مشتریان از ۲ تا (تعداد مشتریان +۱) می‌باشد.

بخش دوم، سهم وسایل‌نقلیه را از مشتریان نشان می‌دهد؛ بدین معنی که مشخص می‌کند مشتری nام چند مشتری را سرویس می‌دهد.

بخش سوم، مربوط به شماره وسائل‌نقلیه است و بخش چهارم، سهم دپوها را از وسائل‌نقلیه نشان می‌دهد.



شکل ۲: *ایجاد یک جواب موجه*

این شکل کروموزوم دارای ویژگیهایی است:

ویژگی ۱ : مجموع سهم وسائل‌نقلیه از مشتریان برای سرویس‌دهی در بخش دوم کروموزوم برابر با تعداد مشتریان است؛ این ویژگی باعث می‌شود که اولاً هر وسیله‌نقلیه از یک مشتری بیشتر از یک‌بار عبور نمی‌کند و ثانیاً هر وسیله‌نقلیه دقیقاً یک‌بار مشتری اختصاص یافته را ملاقات می‌نماید.

ویژگی ۲ : مجموع سهم دپوها از وسائل‌نقلیه در بخش چهارم، برابر تعداد وسائل‌نقلیه است. این ویژگی باعث می‌شود که هیچ‌گاه یک وسیله‌نقلیه به دو دپو یا بیشتر تعلق نمی‌گیرد به عبارت دیگر، یک وسیله‌نقلیه فقط از یک دپو خارج و به همان دپو باز می‌گردد.

ویژگی ۳ : اعداد داخل خانه‌ها (ژنها) به طور تصادفی در کروموزوم قرار می‌گیرند.

[1] gene

www.jozve.org

۳-۲- ساختار الگوریتم ژنتیک پیشنهادی

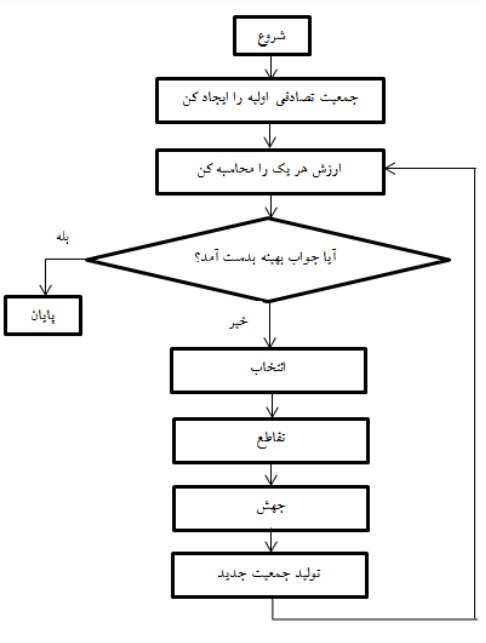
به طور کلی فلوچارت مربوط به بهینه‌سازی با روش الگوریتم ژنتیک در شکل ۳ نمایش داده شده است. با توجه به این فلوچارت الگوریتم ژنتیک با یک جمعیت اولیه آغاز می‌شود یعنی در ابتدای کار یک سری جواب یا راه حل برای مسئله وجود دارد که به منظور رسیدن به جواب بهینه باید اصلاح شوند. این جمعیت اولیه در ابتدای امر به صورت کاملاً تصادفی تعیین می‌شود. مرحله بعدی ارزیابی کروموزوم‌ها می‌باشد؛ یعنی هر یک از این جواب‌ها به چه میزان نسبت به هم ارجحیت دارند و یا این‌که به جواب‌های بهینه نزدیک‌تر هستند. برای این کار از تابع برازندگی[۱] استفاده می‌شود که به آن تابع هزینه[۲] نیز گفته می‌شود.

سپس شرط پایان الگوریتم وجود دارد. در عمل چندین گزینه برای شرط پایان الگوریتم ژنتیک وجود دارد که این شروط باید به گونه‌ای تعیین شوند که وقتی الگوریتم به جواب بهینه کلی رسید آن را متوقف نماید. در هر صورت همواره مشخص است که جمعیت اولیه نمی‌تواند جواب بهینه مسئله باشد، بنابراین مراحل انتخاب[۳] و تقاطع[۴] و جهش[۵] نیز باید اجرا شوند. در واقع این‌ها هر یک عملگرهایی هستند که به کمک آنها نسل جدید کروموزوم‌ها از روی نسل قبلی به وجود می‌آیند. مجموعه این عملیات را می‌توان عملیات تولید نسل جدید[۶] نامید. پس از تولید نسل جدید باید دوباره میزان برازندگی کروموزوم‌های آن ارزیابی شوند و کنترل شود که آیا جواب بهینه مسئله بدست آمده است یا خیر؟ این فرآیند تاجایی باید تکرار شود که الگوریتم جمعیت اولیه را به جمعیت بهینه‌ای سوق دهد که جواب بهینه کلی مسئله را شامل شود.

---

[1] fitness function
[2] cost function
[3] selection
[4] crossover
[5] mutation
[6] regeneration

www.jozve.org



شکل ۳ : *فلوچارت الگوریتم ژنتیک*

۳-۲-۱- ایجاد جمعیت اولیه

در ابتدا یک جمعیت اولیه نیاز داریم. در روش پیشنهادی، جمعیت اولیه به شکل تصادفی و به تعدادی که معرفی می‌کنیم، تولید می‌شود. هر چه جمعت اولیه بزرگ‌تر در نظر گرفته شود، سرعت الگوریتم در بدست آوردن جواب بهینه کمتر می‌شود. از طرفی در نظر گرفتن جمعیت اولیه کم، باعث گیر افتادن الگوریتم در بهینه محلی خواهد شد. در الگوریتم پیشنهادی، به صورت پیش فرض جمعیت اولیه ۲۰ در نظر گرفته شده است و در حالت ۱ اجرای الگوریتم مسئله‌ها با این جمعیت حل می‌شوند. ولی در حالت ۲ اجرای الگوریتم روی مسائل، با توجه به مقیاس مسائل این جمعیت تغییر داده شده است.

۳-۲-۲- تابع برازندگی

با توجه به این‌که جمعیت اولیه به صورت کاملاً تصادفی تولید می‌شود، پس از ایجاد جمعیت اولیه، بایستی کروموزوم‌ها مورد ارزیابی قرار گیرند. یعنی هر یک از این جواب‌ها به چه میزان نسبت به هم ارجحیت دارند و یا این‌که به جواب‌های بهینه نزدیک‌تر هستند. برای این کار از تابع برازندگی استفاده می‌شود که به آن تابع هزینه نیز گفته می‌شود. در این مطالعه تابع هزینه برابر با مجموع کل مسافت

www.jozve.org

پیموده شده توسط وسائل‌نقلیه در نظر گرفته شده است. بدین معنی که جواب‌های بهتر، جوابهایی هستند که مجموع کل مسافت پیموده شده توسط وسائل‌نقلیه در آنها، کمتر از بقیه جوابها شود.

۳-۲-۳- انتخاب

در انتخاب، کروموزم‌ها به صورت تصادفی و بر اساس تابع برازندگی انتخاب می‌شوند. هر چه میزان برازندگی یک عضو در جمعیت بیشتر باشد، شانس انتخاب بیشتری دارد. برای انتخاب کروموزوم‌ها روش‌های مختلفی وجود دارد. در این الگوریتم از روش چرخ گردان[1] استفاده شده است.

۳-۲-۴- تقاطع

در روش پیشنهادی از دو روش تقاطع دو نقطه‌ای و سه نقطه‌ای که با روشهای کلاسیک متفاوت است، استفاده می‌شود :

روش تقاطع دو نقطه‌ای پیشنهادی

در این روش تقاطع، نکته اول این است که انتخاب دو نقطه در یکی از بخشهای چهارگانه کروموزوم صورت می‌گیرد؛ یعنی انتخاب دو نقطه در دو بخش کروموزوم، امکان‌پذیر نیست. همچنین انتخاب محل نقاط به صورت تصادفی صورت می‌گیرد. تفاوت اصلی روش دو نقطه‌ای پیشنهادی با روش دو نقطه‌ای کلاسیک در این است که در روش پیشنهادی، به جای این‌که جای ژنها بین دو نقطه، در دو والد جابجا شوند، ژنهای بین دو نقطه والد ۱، با تأثیر از والد ۲، در همان والد ۱ جابجا می‌شوند و برعکس. بدین ترتیب که پس از انتخاب دو نقطه به طور تصادفی، در مرحله اول اعداد بین دو نقطه والد ۱ و والد ۲ با هم جمع می شوند. سپس در مرحله دوم این اعداد مجموع به ترتیب نزولی به صعودی چیده می‌شوند و نهایتاً در مرحله سوم، بر اساس تغییراتی که در مرحله قبلی در ترتیب چیدمان ژنهای مجموع حاصل شده، این تغییرات و این ترتیب در ژنهای بین دو نقطه والد ۱ والد ۲ اعمال می شود. در واقع چیدمان ژنهای بین دو نقطه در هر والد با تأثیر از والد دیگر، عوض می‌شوند.

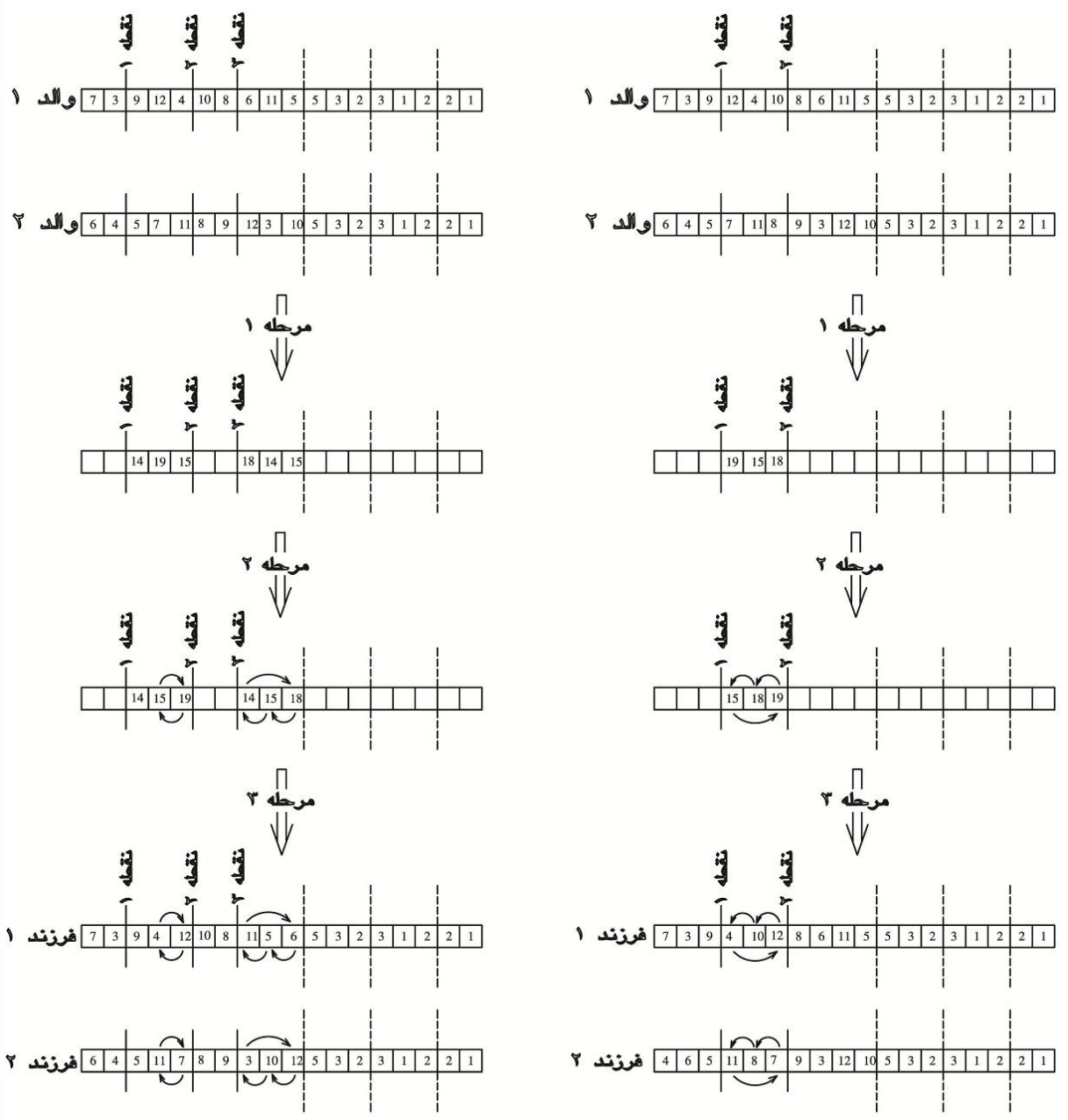
[1] roulette wheel method

www.jozve.org

تقاطع سه نقطه‌ای پیشنهادی

در روش تقاطع سه نقطه‌ای پیشنهادی نیز، انتخاب سه نقطه در یکی از بخشهای چهارگانه کروموزوم و به صورت تصادفی صورت می‌پذیرد. با انتخاب سه نقطه، آن بخش به چهار ناحیه تقسیم می‌شود که جابجایی ژنهای کروموزوم والد ۱، با تأثیر از کروموزوم والد ۲، به صورت یک در میان در والد ۱ و در ناحیه دوم و چهارم، مطابق با مراحل گفته شده در روش دو نقطه‌ای انجام می‌شود. بدیهی است که در هر دو روش دو نقطه‌ای و سه نقطه‌ای پیشنهادی، در صورتی که طول کروموزوم کم باشد، روشهای فوق بی‌اثر خواهند بود. مثالی از تقاطع دو نقطه‌ای و سه نقطه‌ای پیشنهادی در شکل ۴ نشان داده شده است.

www.jozve.org



شکل ۴: *مثالی از تقاطع دو نقطه‌ای و سه نقطه‌ای پیشنهادی*

۳-۲-۵- جهش

در الگوریتم پیشنهادی از دو روش جهش معکوس به شرح زیر استفاده شده است.

www.jozve.org

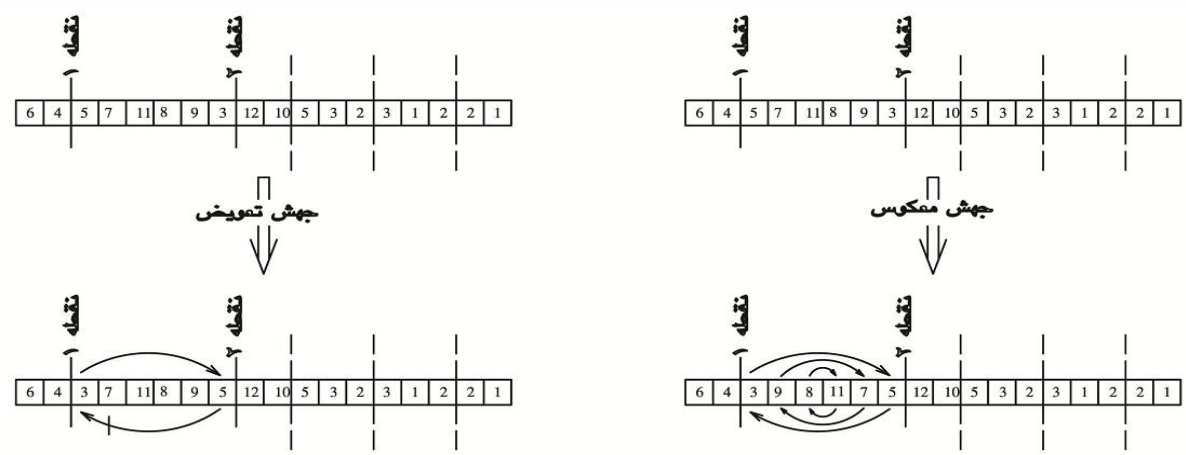
جهش تعویض

در این روش، دو نقطه به طور تصادفی انتخاب می‌گردند و ژن‌های موجود در این نقاط با هم جابجا می‌شود بدون اینکه ژن‌های مابین تغییر کنند.

جهش معکوس

در این روش دو نقطه به طور تصادفی انتخاب می‌شوند و ژن‌های مابین این نقاط به صورت قرینه جابجا می‌گردند.

مثالی جهش تعویض و جهش معکوس در شکل ۵ نشان داده شده است.



شکل ۵: *مثالی از جهش تعویض و جهش معکوس*

۳-۲-۶- شرط پایان الگوریتم

شرط توقف در این الگوریتم همگرایی است، بدین معنی که زمانی الگوریتم متوقف می‌شود که بهبود در انجام فرایند متوقف گردد و دیگر بهبودی در آن حاصل نشود.

۳-۳- کُدنویسی

برنامه‌نویسی این مقاله در نرم افزار MATLAB(8.1) صورت گرفته است.

www.jozve.org

۳-۴- اجرای الگوریتم پیشنهادی روی مسائل تست شده

در این قسمت ابتدا به جزئیات اجرای الگوریتم پیشنهادی روی مسائل تست شده پرداخته می‌شود و سپس مسائل با استفاده از الگوریتم پیشنهادی حل می‌شوند و نهایتاً ارزیابی و مقایسه صورت می‌گیرد.

۳-۴-۱- تعداد تکرار الگوریتم پیشنهادی

همان‌طور که عنوان شد، در این الگوریتم شرط پایان الگوریتم، همگرایی و رسیدن به جواب بهینه می‌باشد. بدین معنی که الگوریتم تا جایی ادامه می‌یابد که دیگر بهبودی در جواب حاصل نشود. در اجرای الگوریتم، تقریباً برای تمامی مسائل، در تعداد تکرار ۱۰۰۰ همگرایی حاصل شده است. از این رو، الگوریتم برای تمامی مسائل با این تعداد تکرار اجرا شده است. از طرفی به جهت این‌که معیار مقایسه برای تمامی مسائل یکسان باشد، استفاده از یک تعداد تکرار یکسان که به همگرایی الگوریتم منجر شود نیز منطقی به نظر می رسد.

۳-۴-۲- جواب بهینه مسئله

جواب بهینه یا بهترین جواب در هر مسئله که در واقع کمترین مقدار تابع هدف می‌باشد برابر با کوتاه‌ترین مسیر پیموده شده توسط وسایل‌نقلیه است. در پایان فرآیند الگوریتم برای هر مسئله، عدد بدست آمده، بهترین جواب می‌باشد که با Answer نشان داده شده است.

۳-۴-۳-کمترین تکرار که جواب بهینه در آن حاصل شده است

کمترین تعداد تکراری است که در آن، الگوریتم به جواب بهینه دست یافته است. این عدد برای هر مسئله با N_{min} نشان داده شده است.

۳-۴-۴- زمان دستیابی به جواب

مدت زمانی است که طول می‌کشد تا الگوریتم به جواب بهینه دست یابد. این زمان برای هر مسئله با t نشان داده شده است.

۳-۴-۵- اجرای الگوریتم روی مسائل در دو حالت

از نوآوری‌های این مقاله در حل مسئله این است که در حین اجرای فرآیند می‌توان عملگرهای تقاطع و جهش را تغییر داد. به طور پیش فرض، مسئله با عملگرهای تقاطع سه نقطه‌ای پیشنهادی و جهش تعویض شروع می‌شود. در ادامه فرآیند، این دو عملگر را می‌توان به عملگرهای تقاطع دو نقطه‌ای و

www.jozve.org

جهش معکوس تبدیل نمود. به منظور بررسی کارآیی این نوآوری، الگوریتم در دو حالت اجرا شده است:

حالت ۱) در این حالت الگوریتم بدون تغییر در عملگرهای تقاطع و جهش و با همان پیش فرض الگوریتم (عملگر تقاطع سه نقطه‌ای پیشنهادی و عملگر جهش تعویض) و با تعداد تکرار ۱۰۰۰، شروع و پایان می‌یابد و جواب بهینه ثبت می‌شود.

حالت ۲) در این حالت فرآیند در دو مرحله صورت می‌گیرد. بدین ترتیب که در مرحله اول، ابتدا الگوریتم بدون تغییر در عملگرهای تقاطع و جهش و با همان پیش فرض الگوریتم (عملگر تقاطع سه نقطه‌ای پیشنهادی و عملگر جهش تعویض) و با تعداد تکرار ۵۰۰، شروع می‌شود. در ادامه عملگرهای تقاطع و جهش پیش فرض را با عملگر تقاطع دو نقطه‌ای پیشنهادی و عملگر جهش معکوس تعویض نموده و با تعداد تکرار ۵۰۰ تای دیگر ادامه می‌یابد.

مقایسه این دو حالت کارآیی نوآوری ارائه شده در این مقاله را نشان می‌دهد.

۳-۴-۶- مسائل تست شده استاندارد

یکی از محدودیت‌های مسئله مسیریابی وسیله‌نقلیه همراه با تحویل و بارگیری کالا، کمبود معیارهای مقایسه برای ارزیابی نتایج می‌باشد. این مطلب در اکثر مقالات گذشته نیز به چشم می‌خورد. نهایتاً جهت ارزیابی الگوریتم پیشنهادی، جزئیات مسائل تست شده ارائه شده توسط وانگ و همکاران[۲۳] جهت اعتبارسنجی نتایج الگوریتم پیشنهادی از ایشان دریافت گردید. در کنار آن نتایج نرم‌افزار cplex نیز عنوان شده است که معیاری برای سنجش نتایج مسئله مسیریابی وسیله‌نقلیه همراه با تحویل و بارگیری همزمان قرار می‌گیرد.

۳-۴-۷- خلاصه نتایج

در این بخش، مسائل تست شده استاندارد، با استفاده از الگوریتم پیشنهادی در دو حالت مورد بررسی قرار گرفت. از بین کل ۱۵ مسئله مورد آزمایش، در ۱۰ مسئله (Rcdp1007، Rcdp2501، Rcdp2504، Rcdp2507، Rcdp5001، Rcdp5004، Rdp101، Rdp201، Cdp201، Rcdp201) نتایج حالت دوم بهتر از حالت اول بود، در ۴ مسئله (Rcdp1001، Rcdp5007، Cdp101، Rcdp101) نتایج حالت اول بهتر از حالت دوم شد و در یک مسئله (Rcdp1004) نتیجه دو حالت ۱ و ۲ برابر گردید. بدین ترتیب در اکثر مسائل نتایج حالت دوم بهتر از حالت اول

www.jozve.org

شده و این بدان معنی است که تغییر عملگرهای تقاطع و جهش که بعنوان نوآوری این پژوهش مطرح گردید کارآیی مؤثری در حل مسئله نشان داد.

در جدول ۱ نتایج حل مسائل تست شده با استفاده از الگوریتم پیشنهادی در دو حالت ۱و۲ نشان داده شده است. در این جدول Answer، جواب بهینه مسئله، Nmin، کمترین تعداد تکرار که در آن جواب بهینه بدست آمده و t ، مدت زمان فرآیند برای رسیدن به جواب بهینه می‌باشد. جدول ۲ نیز، بهترین جواب بدست آمده توسط الگوریتم پیشنهادی را نشان می‌دهد.

جدول ۱ : *نتایج حل مسائل تست شده با استفاده از الگوریتم پیشنهادی در دو حالت ۱و۲*

problem	حالت ۱			حالت ۲		
	Answer	N_{min}	t	Answer	N_{min}	t
Rcdp1001	۲۸۵/۳	۷۷۶	۲′ ۲۲″	۲۸۹/۶۹	۱۷	۲″
Rcdp1004	۲۳۰/۳۲	۱۱۳	۱۰″	۲۳۰/۳۲	۱۱۳	۱۰″
Rcdp1007	۲۵۵/۷۳	۱۲۲	۱۰″	۲۴۹/۱۸	۸۲۸	۳′ ۴۶″
Rcdp2501	۶۹۱/۷۴	۸۶۹	۴′ ۴۱″	۶۶۷/۰۴	۹۵۱	۹′ ۱۸″
Rcdp2504	۷۶۷/۴۳	۱۷۳	۳۳″	۷۱۷/۴۲	۵۹۲	۳′ ۲۸″
Rcdp2507	۸۳۸/۳	۹۴۰	۵′ ۸″	۸۰۱/۹۲	۸۰۴	۷′ ۳″
Rcdp5001	۱۳۲۹/۳۴	۴۲۰	۲′ ۹″	۱۲۰۳/۲۹	۸۹۸	۱۱′ ۱۲″
Rcdp5004	۱۵۰۵/۴۱	۵۱۲	۲′ ۵۳″	۱۳۶۱/۱۸	۹۱۸	۱۱′ ۴۲″
Rcdp5007	۱۳۷۷/۸۷	۵۴۴	۳′ ۷″	۱۴۰۲/۸۹	۵۴۲	۳′ ۳۷″
Cdp101	۱۷۸۱/۲۴	۵۶۷	۴′ ۳۶″	۱۷۸۱/۲۴	۷۹۱	۱۰′ ۴۳″
Cdp201	۲۱۶۱/۶۲	۹۶۱	۹′ ۴۴″	۲۰۲۷/۲	۷۴۷	۹′ ۳۰″
Rdp101	۲۲۱۰/۵۳	۸۰۲	۷′ ۲۶″	۲۰۹۹/۸۴	۹۴۹	۱۴′ ۵۷″
Rdp201	۲۰۷۴/۴۳	۸۷۸	۸′ ۱۶″	۲۰۲۷/۵۵	۹۱۸	۱۳′ ۲۲″
Rcdp101	۲۳۳۳/۵۶	۸۳۵	۷′ ۵۰″	۲۳۳۳/۷۷	۸۶۷	۱۲′ ۳۴″
Rcdp201	۲۴۷۱/۰۳	۹۹۳	۱۰′ ۲۷″	۲۴۶۲/۰۲	۹۸۵	۱۴′ ۵۹″

www.jozve.org

جدول ۲ : *نتایج حل مسائل تست شده با استفاده از الگوریتم پیشنهادی*

problem	Answer	N_{min}	t
Rcdp1001	۲۸۵/۳	۷۷۶	۲′ ۲۲″
Rcdp1004	۲۳۰/۳۲	۱۱۳	۱۰″
Rcdp1007	۲۴۹/۱۸	۸۲۸	۳′ ۴۶″
Rcdp2501	۶۶۷/۰۴	۹۵۱	۹′ ۱۸″
Rcdp2504	۷۱۷/۴۲	۵۹۲	۳′ ۲۸″
Rcdp2507	۸۰۱/۹۲	۸۰۴	۷′ ۳″
Rcdp5001	۱۲۰۳/۲۹	۸۹۸	۱۱′ ۱۲″
Rcdp5004	۱۳۶۱/۱۸	۹۱۸	۱۱′ ۴۲″
Rcdp5007	۱۳۷۷/۸۷	۵۴۴	۳′ ۷″
Cdp101	۱۷۸۱/۲۴	۵۶۷	۴′ ۳۶″
Cdp201	۲۰۲۷/۲	۷۴۷	۹′ ۳۰″
Rdp101	۲۰۹۹/۸۴	۹۴۹	۱۴′ ۵۷″
Rdp201	۲۰۲۷/۵۵	۹۱۸	۱۳′ ۲۲″
Rcdp101	۲۳۳۳/۵۶	۸۳۵	۷′ ۵۰″
Rcdp201	۲۴۶۲/۰۲	۹۸۵	۱۴′ ۵۹″

۴- اعتبارسنجی الگوریتم پیشنهادی و مقایسه نتایج آن با نتایج مسائل استاندارد

۴-۱- مقایسه نتایج بدست آمده از الگوریتم پیشنهادی با نتایج موجود برای حل مسائل تست شده با مقیاس کوچک

نرم‌افزار ILOG Cplex، نرم‌افزار برنامه‌ریزی خطی است که می‌تواند جوابهای بهینه را برای مسئله مسیریابی وسیله‌نقلیه همراه با بارگیری در مقیاس کوچک بدست آورد. از این رو نتایج الگوریتم پیشنهادی به همراه نتایج مطالعه وانگ و همکاران (GA) و نتایج نرم‌افزار Cplex در جدول ۳ آمده است.

www.jozve.org

جدول ۳- *نتایج الگوریتم پیشنهادی برای مسائل مقیاس کوچک*

Problem(small test)	Cplex	GA	Answer
Rcdp1001	۳۴۸/۹۸	۳۴۸/۹۸	۲۸۵/۳
Rcdp1004	۲۱۶/۶۹	۲۱۶/۶۹	۲۳۰/۳۲
Rcdp1007	۳۱۰/۸۱	۳۱۰/۸۱	۲۴۹/۱۸
Rcdp2501	۵۵۱/۰۵	۵۵۱/۰۵	۶۶۷/۰۴
Rcdp2504	۷۳۸/۳۲	۴۷۳/۴۶	۷۱۷/۴۲
Rcdp2507	۶۳۴/۲	۵۴۰/۸۷	۸۰۱/۹۲
Rcdp5001	۹۹۴/۱۸	۹۹۴/۱۸	۱۲۰۳/۲۹
Rcdp5004	۱۹۶۱/۵۳	۷۲۵/۵۹	۱۳۶۱/۱۸
Rcdp5007	۱۸۱۴/۳۳	۸۰۹/۷۲	۱۳۷۷/۸۷

۴-۲- مقایسه نتایج بدست آمده از الگوریتم پیشنهادی با نتایج موجود برای حل مسائل تست شده با مقیاس بزرگ

در این قسمت نتایج الگوریتم پیشنهادی برای حل مسائل مقیاس بزرگ (Answer) به همراه نتایج مطالعه وانگ و همکاران (proposed by Wang et al.) و الگوریتم ژنتیک پایه (Basic GA) در جدول ۴ ارائه شده است.

جدول ۴- *نتایج الگوریتم پیشنهادی برای مسائل مقیاس بزرگ*

Problem(larg test)	Basic GA	Proposed by Wang et al.	Answer
Cdp101	۱۰۰۱/۹۷	۱۰۰۱/۹۷	۱۷۸۱/۲۴
Cdp201	۵۹۱/۵۶	۵۹۱/۵۶	۲۰۲۷/۲
Rdp101	۱۶۵۶/۶۸	۱۶۵۳/۵۳	۲۰۹۹/۸۴
Rdp201	۱۲۹۹/۱۷	۱۲۸۰/۴۴	۲۰۲۷/۵۵
Rcdp101	۱۶۶۵/۲	۱۶۵۲/۹	۲۳۳۳/۵۶
Rcdp201	۱۳۳۷/۹۸	۱۵۸۷/۹۲	۲۴۶۲/۰۲

۴-۳- ارزیابی و مقایسه

همانطور که در جدول ۳ قابل مشاهده است از میان مسائل مقیاس کوچک، در مسائل RCdp1001 وRCdp1007 ، نتایج الگوریتم پیشنهادی، نتایج مطالعه وانگ و همکاران و نتایج نرم‌افزار cplex را

www.jozve.org

بهبود داده است. همچنین در مسائلRCdp2504 و RCdp5004 وRCdp5007 ، نتایج الگوریتم پیشنهادی نسبت به نتایج نرم‌افزار cplex، ارتقا یافته‌اند. این بدان معنی است که الگوریتم پیشنهادی در اکثر مسائل مقیاس کوچک کارآیی مؤثر خود را نشان می‌دهد. ولی همان‌گونه که در جدول ۴ مشاهده می‌شود الگوریتم پیشنهادی نمی‌تواند در حل مسائل بزرگ رقابت نماید.

۵- نتیجه‌گیری

در این مطالعه، مسئله مسیریابی وسیله‌نقلیه همراه با بارگیری و تحویل همزمان مورد بررسی قرار گرفت. مطالعات گذشته در این زمینه مورد بررسی قرار گرفت. در ادامه کُدنویسی مسئله در برنامه متلب شکل گرفت. برای ایجاد مدل مسئله، از یک کروموزوم چهاربخشی به عنوان جواب موجه استفاده شد که ویژگیهای منحصر به فرد آن، مفروضات این مسئله را برآورده ساخت. در این مطالعه یک الگوریتم ژنتیک با ویژگی‌های جدید بکار گرفته شد. در این الگوریتم، از" روش چرخ رولت" بعنوان روش انتخاب استفاده گردید. دو عملگر تقاطع دونقطه‌ای پیشنهادی و سه‌نقطه‌ای پیشنهادی و دو عملگر جهش تعویض و معکوس با ویژگیهای جدید طراحی شد. در اغلب مطالعات گذشته در طول اجرای فرآیند از یک عملگر تقاطع و یک عملگر جهش استفاده می‌شد؛ ولی در این الگوریتم پیشنهادی، امکان استفاده توأم دو عملگر تقاطع و استفاده توأم دو عملگر جهش در طول اجرای فرآیند مهیا گردید. بدین ترتیب که در حین اجرای الگوریتم، می‌توان عملگر تقاطع یا عملگر جهش را تعویض نمود تا شاید بهبودی در جواب مسئله رخ دهد که کارآیی مؤثر این طرح نیز در اکثر مسائل نشان داده شد. برای ارزیابی و اعتبارسنجی این الگوریتم پیشنهادی، از نتایج مطالعه وانگ و همکاران استفاده شد. این نتایج در دو گروه مسائل با مقیاس کوچک و مسائل با مقیاس بزرگ بیان شده است :

۱. نتایج حاصله نشان داد، الگوریتم پیشنهادی می‌تواند بسیاری از نتایج مسائل با مقیاس کوچک را بهبود بخشد و کارآیی مؤثر این الگوریتم را نشان دهد؛ هر چند که در مورد مسائل با مقیاس بزرگ نتوانست رقابت چندانی نماید.
۲. این مطالعه به بررسی مسئله مسیریابی وسیله‌نقلیه همراه با تحویل و بارگیری برای یک نوع کالا پرداخت؛ مطالعات بعدی می‌تواند، این مسئله را برای بیش از یک نوع کالا مورد بررسی قرار دهد.

www.jozve.org

تقدیر و تشکر

بدینوسیله نویسندگان مقاله از آقای "وانگ و همکاران" که اطلاعات مربوط به مسائل تست شده استاندارد را در اختیار ما قرار دادند، تشکر می‌نماییم.

www.jozve.org

مراجع

[1] Cordeau, J.F., Gendreau, M., Laporte, G., ۱۹۹۷, A tabu search heuristic for periodic and multi-depot vehicle routing problems, Networks, Vol. 30, pp. 105–119.
[2] Solomon, M.M., 1987, Algorithms for the vehicle routing and scheduling problems with time window constraints, Operations Research, Vol. 35, pp. 254–265.
[3] Berbeglia, G., Cordeau, J.F., Gribkovskaia, I., Laporte, G., 2007, Static pickup and delivery problems: A classification scheme and survey, TOP, Vol. 15, pp. 1–31.
[4] Ropke, S., Pisinger, D., 2006, A unified heuristic for a large class of vehicle routing problems with backhauls, European Journal of Operational Research, Vol. 171, pp. 750 -775.
[5] Min, H., 1989, The multiple vehicle routing problem with simultaneous delivery and pick-up points, Transportation Research Part A: General, Vol. 23, pp. 377–386.
[6] Gendreau, M., Laporte, G., Vigo, D., 1999, Heuristics for the traveling salesman problem with pickup and delivery, Computers and Operations Research, Vol. 26(7), pp. 699–714.
[7] Dethloff, J., 2001, Vehicle routing and reverse logistics: The vehicle routing problem with simultaneous delivery and pick-up, OR Spektrum, Vol. 23, pp. 79–96.
[8] Salhi. S., Nagy. G., 1999, A cluster insertion heuristic for single and multiple depot vehicle routing problems with backhauling, Journal of the Operational Research Society, Vol. 50, pp. 1034–1042.
[9] Dethloff. J., 2002, Relation between vehicle routing problems: an insertion heuristic for the vehicle routing problem with simultaneous delivery and pick-up applied to the vehicle routing problem with backhauls, Journal of the Operational Research Society, Vol. 53, pp. 115-118.
[10] Chen, J. F., Wu, T.H., 2006 ,Vehicle routing problem with simultaneous deliveries and pickups, Journal of the Operational Research Society, Vol. 57, pp. 579 –587.
[11] Dell'Amico, M., Righini, G., Salani, M., 2006, A branch-and price approach to the vehicle routing problem with simultaneous distribution and collection, Transportation Science, Vol. 40, pp. 235–247.

www.jozve.org

[12] Nagy, G., Salhi, S., 2005, Heuristic algorithms for single and multiple depot vehicle routing problems with pickups and deliveries, European Journal of Operational Research, Vol. 162, pp. 126–141.
[13] Zachariadis, E.E., Tarantilis, C.D., Kiranoudis, C.T., 2010, An adaptive memory methodology for the vehicle routing problem with simultaneous pick-ups and deliveries, European Journal of Operational Research, Vol. 202, pp. 401– 411.
[14] Toth, P., Vigo, D., 1999, A heuristic algorithm for the symmetric and asymmetric vehicle routing problems with backhauls, European Journal of Operational Research, Vol. 113, pp. 528–543.
[15] Montane, F.A., Galvao, R.D., 2002, Vehicle routing problems with simultaneous pick-up and delivery service, Journal of the Operations Research Society of India (OPSEARCH), Vol. 39(1), pp. 19–33.
[16] Montane, F.A., Galvao, R.D., 2006, A tabu search algorithm for the vehicle routing problem with simultaneous pick-up and delivery service, Computer and Operations Research, Vol. 33(3), pp. 595–619.
[17] Bianchessi, N., Righini, G., 2007, Heuristic algorithms for the vehicle routing problem with simultaneous pick-up and delivery, Computers and Operations Research, Vol. 34, pp. 578–594.
[18] Jaw, J., Odoni, A., Psaraftis, H., Wilson, N., 1986, A heuristic algorithm for the multi-vehicle advance-request dial-a-ride problem with time windows, Transportation Research, Vol. 20B, pp. 243–257.
[۱۹] Osman, I.H., 1993, Meta strategy simulated annealing and tabu search algorithms for the vehicle routing problem, Annals of Operations Research, Vol. 41, pp. 421–451.
[۲۰] Wang, F.H., Chen, Y.Y., 2012, A genetic algorithm for the simultaneous delivery and pickup problems with time window, Computers & Industrial Engineering, Vol. 62, pp. 84 – 95.
[۲۱] Tasan, A.S., Gen, M., 2012, A genetic algorithm based approach to vehicle routing problem with simultaneous pick-up and deliveries, Computers & Industrial Engineering, Vol. 62, pp. 755 – 761.
[۲۲] Ganesh, K., Narendran, T.T., 2007, CLOVES: A cluster-and-search heuristic to solve the vehicle routing problem with delivery and pick-up, European Journal of Operational Research, Vol. 178, pp. 699 – 717.
[۲۳] http://oz.nthu.edu.tw/~d933810/test.htm

www.jozve.org

چهاردهمین کنفرانس بین المللی
مهندسی حمل و نقل و ترافیک
The 14th International
Conference on Traffic and
Transportation Engineering

Solving vehicle routing problem with simultaneous pickup and delivery with the application of genetic algorithm

A.M.Shahdaei[1] and A.M.Rahimi[2] and M.R.Ahadi[2]

1. M.Sc. Student of Road Engineering, Engineering Faculty, Islamic Azad University, Zanjan Branch
2. Assistant Professor of Transportation Engineering, Civil Engineering Department, Engineering Faculty, University of Zanjan, Zanjan, IRAN, *amrahimi@znu.ac.ir*
3. Assistant Professor of Transportation Engineering, Traffic Safety Department, BHRC, Tehran, IRAN

ABSTRACT

Nowadays, transportation problems are drawing more attention with respect to increasing demand for receiving products and services of cities. On the other hand, every day, production companies face with picking up and delivering of goods. One of the most important issues of transportation problems which are drawing the attention of the most researchers is vehicle routing problem. In this research, vehicle routing problem with pickup and delivery is formulated such that in addition to the picking up the product, delivering of them is done too. Because of this problem is NP-hard, a genetic algorithm is proposed. In this algorithm two kind of crossover operators and two kinds of mutation operators with new features is introduced which they are able to change to each other duration of the process and validity of them is shown. Some of the generated benchmark instances are used to show the performance and validity of the algorithm. Comparing the results show that proposed algorithm improves more than 13% of instances results with small size.

Key word: ***Transportation, Pickup and delivery, Vehicle routing problem with pickup and delivery, Genetic algorithm.***

www.jozve.org