



OPTIMAL ROUTING IN THE MILK RUN LOGISTICS WITH TIME CONSTRAINT AND INCOMPATIBILITIES DEMAND

Behroz. Mirkhanzadeh & Esmail. Mehdizadeh*

Behroz Mirkhanzadeh, M.Sc. of Industrial Eng-Iran, Science & Research Branch, Islamic Azad University of Saveh, Esmail. Mehdizadeh, Assistant Professor, Faculty of Industrial and Mechanical Engineering, Qazvin Branch, Islamic Azad University

Keywords

Supply Chain Management (SCM),
Logistic,
Vehicle Routing Problem (VRP),
Genetic Algorithms (GA) and Clustering

ABSTRACT

The process of transportation is one of the fundamental processes of Logistic that researchers ever endeavor to minimize the resulting costs of that via designing appropriate transport systems. One of these systems is Milk Run Logistic as the subsequent step of Lean Production that causes warehouse space release and diminution of cycle time and inventory levels. In this investigation, a new proposed model based on clustering is presented for the sake of Optimal Routing in Milk Run Logistic. At the first phase, this model clusters the suppliers in order to create compatibility in materials and parts which are exposed to transport, then in the second phase for the suppliers that are placed in the same cluster, the model performs Optimal Routing for each vehicle in order to minimizing travel coast and time with considering two significant constraints which are maximum capacity and travel time. To put confidence in this proposed model, the Lingo software is used and in continuation, an offered algorithm is presented and solved which is based on Genetic Algorithm, and the Tagochi method is applied to adjusting parameters. Finally, comparing the obtained results of the offered algorithm implementation with the attained results of Lingo, affirms the efficiency of the algorithm.

© 2015 IUST Publication, IJIEPM. Vol. 26, No. 4, All Rights Reserved



مسیریابی بهینه در مسئله لجستیک میلک ران با محدودیت زمانی و تقاضای ناسازگار

بهروز میرخانزاده و اسماعیل مهدی زاده*

چکیده:

فرآیند حمل و نقل یکی از فرآیندهای اصلی لجستیک بوده که محققان همواره با طراحی سیستمهای مناسب حمل و نقل سعی در کمینه نمودن هزینه‌های ناشی از آن نموده اند. یکی از این سیستمها، لجستیک میلک ران می‌باشد که به عنوان گام بعدی تولید ناب موجب کاهش زمان سیکل، سطح موجودی و آزاد سازی فضای انبارش می‌شود. در این پژوهش یک مدل جدید پیشنهادی مبتنی بر خوشه بندی به منظور مسیریابی بهینه در مسئله لجستیک میلک ران با محدودیت زمانی و تقاضای ناسازگار ارائه شده است، که در فاز اول تامین کنندگان را به منظور ایجاد سازگاری در مواد و قطعات مورد حمل، خوشه بندی نموده و سپس در فاز دوم برای تامین کنندگانی که در یک خوشه قرار گرفته اند، مسیریابی بهینه را با هدف کمینه کردن هزینه‌های سفر و زمان سفر با در نظر گرفتن دو محدودیت مهم حداکثر ظرفیت و زمان سفر برای هر وسیله نقلیه انجام می‌دهد. به منظور اعتبار سنجی مدل پیشنهادی از نرم افزار لینگو استفاده شده و در ادامه یک الگوریتم پیشنهادی مبتنی بر الگوریتم ژنتیک ارائه و حل می‌شود که به منظور تنظیم پارامترها از روش تاگوچی بهره گرفته شده است. در نهایت نتایج حاصله از اجرای الگوریتم پیشنهادی با نتایج حاصل از نرم افزار لینگو، کارایی الگوریتم پیشنهادی را تصدیق می‌کنند.

کلمات کلیدی

مدیریت زنجیره تامین،
لجستیک،
مسئله مسیریابی و وسایل نقلیه،
الگوریتم ژنتیک،
خوشه بندی

۱. مقدمه

مدیریت زنجیره تامین^۱ از جمله مباحثی می‌باشد که توجه بسیاری از محققان را در سالهای اخیر به خود جلب نموده است و بصورت کلی مدیریت زنجیره تامین به این صورت تعریف می‌شود: شبکه ای از سازمان‌ها، تجهیزات، مواد و فعالیت‌هایی است که تدارک، تولید و تحویل محصولات یا خدمات را از مرحله تامین مواد اولیه تا تحویل به مشتری، در برمی‌گیرد. در تحلیل سیستم‌های تولیدی، لجستیک بخش فیزیکی زنجیره تامین را در بر می‌گیرد (گانشان، ۱۹۹۹). این بخش که کلیه فعالیت‌های فیزیکی از مرحله تهیه ماده خام تا محصول نهایی شامل فعالیت‌های حمل و نقل، انبارداری، زمانبندی تولید را شامل می‌شود، بخش نسبتاً بزرگی از فعالیت‌های

زنجیره تامین را به خود اختصاص می‌دهد. به عبارت دیگر لجستیک شامل تمامی عملیات ضروری برای تحویل کالاها یا خدمات بجز نحوه ساخت یا انجام خدمت دهی می‌باشد. طراحی شبکه لجستیک یکی از مهمترین تصمیمات استراتژیک در مدیریت زنجیره تامین می‌باشد به گونه ای که تصمیم گیری درباره تعداد تجهیزات، نوع آنها و ظرفیتشان، و مقدار یا تعداد مواد قابل حمل، بر هزینه تأثیر می‌گذارد. لذا طراحی زنجیره تامین کارا و موثر می‌تواند یک مزیت رقابتی پایدار برای شرکت‌ها ایجاد کند. فرآیند حمل و نقل از فرآیندهای اصلی لجستیک می‌باشد و با توجه به اینکه هزینه‌های لجستیکی جزء هزینه سربار می‌باشند، محققان همواره با طراحی سیستم‌های حمل و نقل سعی در کمینه نمودن این هزینه‌ها نموده اند. یکی از این سیستمها، لجستیک میلک ران می‌باشد. در این پژوهش مسیریابی بهینه در مسئله لجستیک میلک ران با محدودیت زمانی و تقاضای ناسازگار مورد مطالعه قرار خواهد گرفت و یک مدل پیشنهادی مبتنی بر خوشه بندی با هدف کمینه کردن هزینه‌های سفر و زمان سفر با در نظر گرفتن دو محدودیت مهم حداکثر ظرفیت و زمان سفر برای هر وسیله نقلیه ارائه خواهد شد.

تاریخ وصول: ۹۲/۰۶/۱۶

تاریخ تصویب: ۹۲/۱۱/۲۹

بهروز میرخانزاده، کارشناس ارشد مهندسی صنایع، دانشکده مهندسی صنایع، دانشگاه آزاد اسلامی واحد علوم و تحقیقات ساوه، Mrbrhz@gmail.com
*نویسنده مسئول مقاله: اسماعیل مهدی زاده، استادیار، دانشکده مهندسی صنایع و مکانیک، دانشگاه آزاد اسلامی واحد قزوین، emehdi@qiau.ac.ir

۲. مروری بر ادبیات پژوهش

۱-۲. لجستیک Milk-Run

سیستم Milk-Run یک سیستم تامین قطعات از چندین تامین کننده می باشد و به جای اینکه هر حامل به صورت جداگانه به هر تامین کننده رجوع کند و بعد از بارگیری به کارخانه برگردد، حامل هایمان در چرخه ی چندین تامین کننده قرار می گیرند و چندین کالای مختلف را به صورت تکه تکه بارگیری کرده و بر می گردند.

پسه (۲۰۰۰) قدم بعدی به سوی تولید ناب را Milk-Run عنوان کرده و تاکید می کند که این روش تا ۸۰٪ در کاهش سطح موجودی و ۱۰۰٪ در آزاد سازی فضا موثر بوده است و نیز با ذخیره نیروی کار برای ساخت محصولات به جای صرف وقت به باز نمودن قطعات و جستجو برای آنها، موجب کاهش زمان سیکل می گردد. (پسه، ۲۰۰۰)

میته^۲، یک مدل بهینه سازی و یک نمونه اولیه نرم افزار کامپیوتری به منظور حل مسئله مسیریابی وسایل نقلیه برای سیستم میلک ران در مقیاس بزرگ را پیشنهاد داده اند (میته، ۲۰۰۷).

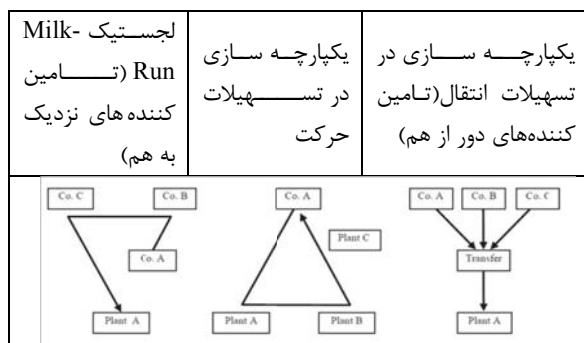
تیمون دو^۳ در پژوهشی دیگر به بررسی تنظیمات پارامتر در زمان واقعی سیستم اعزام خودرو برای تثبیت در میلک ران می پردازد. نتایج آزمایش پیشنهاد می دهد که سیستم باید وسایل نقلیه اولیه اعزام ماژول و ماژول بهبودی میان- مسیر را داشته باشد (تیمون دو، ۲۰۰۷).

جعفری اسکندری و همکاران^۴، یک روش بهینه سازی قوی در سیستم میلک ران با پنجره زمانی و در شرایط موجودی عدم اطمینان را ارائه کرده اند که منجر به حداقل رساندن هزینه های حمل و نقل شده است. همچنین یک مطالعه موردی بر روی سیستم حمل و نقل سایپا بر اساس حل به روش PSO^۵ صورت گرفته است (جعفری اسکندری و همکاران، ۲۰۱۰).

نموتو^۶ (۲۰۱۰) طی یک تحقیق به مطالعه موردی تولیدکنندگان خودرو سازی ژاپنی در تایلند پرداخته و نشان می دهد که با اجرای لجستیک میلک ران حتی تحت شرایط ترافیک به شدت شلوغ و پرتراکم، آنها می توانند نظارت و کنترل کامل را بر روی فرایند تهیه داشته و در نتیجه کاهش تعداد کامیون های اعزام شده و بهبود در شرایط ترافیک در مناطق شهری را به ارمغان آورند (نموتو، ۲۰۱۰). این سیستم توسط برخی از خودروسازان با هدف کاهش سطوح موجودی واحدهای تامین کنندگان، مورد استفاده قرار گرفته است: شرکت لجستیک گیلهور^۷ که وظیفه جمع آوری و انتقال قطعات و تمامی خدمات لجستیکی در سایت آکسفورد BMW را برعهده دارد، تمام قطعات کوچک این خودروساز را به صورت میلک ران از ۶ منطقه جغرافیایی انگلستان جمع آوری کرده و به صورت به هنگام (JIT)^۸ تحویل می دهد.

شرکت گفکو^۹ که مدیریت تامین و توزیع قطعات شبکه پژو / سیترون را برعهده دارد، ۴۰ درصد از قطعات کوچک این شرکت را در سایت تولیدی سائوپولو برزیل، از طریق میلک ران تامین می کند.

در سیستم تولید تویوتا^۱ که از پیشگامان استفاده از سیستم یکپارچه سازی^{۱۱} می باشد، دو مفهوم مهم وجود دارد: یکی تولید به هنگام^{۱۲} که تا حد امکان در جهت از بین بردن ضایعات ناشی از انتظار، ذخائر انبار و قطعات معیوب حرکت می کند. به عنوان مثال اگر تنها قطعات مورد نیاز در تولید در اندازه های کوچک به خطوط مونتاژ حمل شوند، انبارش در کنار خطوط مونتاژ کاهش یافته و همچنین تعداد قطعات معیوب تولید شده به حداقل می رسد. و مفهوم دیگر تسطیح تولید می باشد که شامل به حد اقل رساندن تفاوت بین میزان تولید و تقاضا می باشد. سیستم تولید تویوتا (TPS^{۱۳}) به منظور حل مشکلات حمل و نقل در ابعاد کوچکتر (که شامل عدم تکمیل ظرفیت وسیله نقلیه و به طبع آن افزایش هزینه حمل و نقل است) لجستیک میلک ران را در سطح انبارهای داخلی کارخانه و همچنین در سطح تامین کنندگان مورد استفاده قرار داد (نموتو، ۲۰۱۰).



شکل ۱. انواع سیستمهای یکپارچه سازی (نموتو، ۲۰۱۰)

طرح میلک ران از سال ۱۳۸۵ به صورت پابلوت در چندین قطعه ساز، توسط امور لجستیک سازندگان ساپکو^{۱۴} اجرا شد و هم اکنون در حال پیگیری است. در سطح شرکت ایران خودرو نیز گام هایی برداشته شده و موفقیت هایی کسب شده است.

۲-۲. مسئله مسیریابی وسایل نقلیه

مسئله مسیریابی وسایل نقلیه از جمله مسائل بهینه سازی ترکیبی^{۱۵} می باشد (ترکیب دو مسئله معروف فروشنده دوره گرد^{۱۶} و مسئله بندی ظروف^{۱۷}) و یکی از مسائل برنامه ریزی عدد صحیح معروف می باشد که در طبقه مسائل NP-Hard قرار دارد (قصیری، ۱۳۸۵) و برای اولین بار توسط دنترینگ و رامسر در سال ۱۹۵۹ تعریف شده و شامل طراحی و بهینه سازی مجموعه ای از مسیرها برای جریانی از وسایل نقلیه که مستقر در یک یا چند دپو هستند، به منظور خدمت دهی به مجموعه ای از مشتریان معین می باشد

نتایج بر مزایای مثبت از طریق استفاده از اطلاعات در زمان واقعی صحه گذاشته است (لیاو، ۲۰۱۱).
مصطفی خواجه، مسئله DVRP^{۲۱} را مورد آزمایش قرار داده و متد حل بر اساس الگوریتم فرا ابتکاری PSO و همچنین الگوریتم جستجوی همسایگی متغییر VNS^{۲۲} را ارائه نموده است و در نهایت وضعیت هر دو روش را از لحاظ سازگاری دینامیکی اندازه گیری کرده است (مصطفی خواجه، ۲۰۱۲).

۲-۳. خوشه بندی^{۲۳}

الگوریتم‌های خوشه بندی اشیاء داده ای (طرح‌ها ، نهادها ، نمونه‌ها ، مشاهدات ، واحدها) را داخل تعداد خاصی از خوشه‌ها (گروه‌ها ، زیرمجموعه‌ها یا مقوله‌ها) تفکیک می‌کنند. اما عموماً توافقی بر تعریف مختصر فوق از اصطلاح خوشه بندی وجود ندارد . خوشه بندی مجموعه ای از نهادها می‌شود ، ولی نهادهای خوشه‌های مختلف شبیه هم نیستند (اوریت، ۲۰۰۱). خوشه بندی یکی از شاخه‌های یادگیری بدون نظارت می‌باشد و فرآیند خودکاری است که در طی آن، اشیا به دسته‌هایی که اعضای آن از نظر شاخص‌های مورد نظر مشابه یکدیگر می‌باشند، تقسیم می‌شوند. در خوشه بندی قطعی، هر خوشه حداقل باید شامل یک شی باشد، دو خوشه ی مختلف نباید اشیا مشترک داشته باشند و هر شی باید به یک خوشه تخصیص پیدا کند. روش‌های مختلفی برای حل مسئله خوشه بندی در حالت قطعی وجود دارد که الگوریتم k میانگین (الگوریتم K-means) کاربردی ترین آنها است که در این تحقیق از این الگوریتم بهره گرفته شده است.

۲-۳-۱. الگوریتم k میانگین

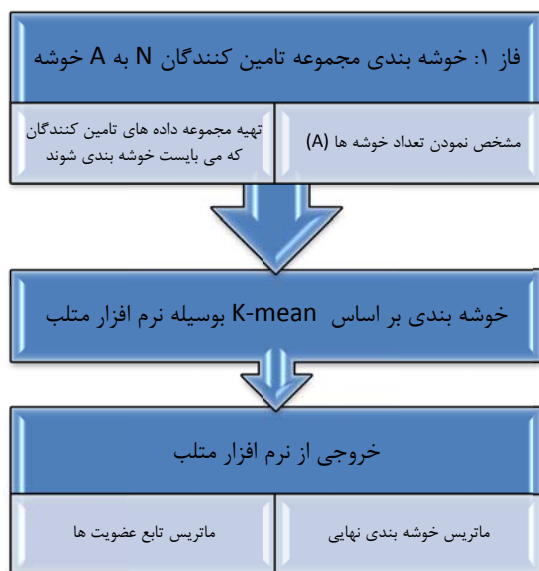
این الگوریتم به عنوان یک ابزار خوشه بندی، به مراتب بیشتر از سایر الگوریتم‌ها در صنعت و کاربردهای علمی مورد استفاده قرار گرفته است. وجه تسمیه آن بخاطر نمایش مربوط به نقاط آن است که به آن مرکز خوشه می‌گوییم. الگوریتم‌های مبتنی بر این روش، به لحاظ آماری و هندسی برای صفات عددی بسیار مناسب هستند. مجموع تفاوتها بین نقاط و مرکز خوشه در قالب فاصله بیان می‌شود و بعنوان تابع هدف، مجموع مربعات خطا بین نقاط و مرکز می‌باشد. این الگوریتم ابتدا همه نقاط را به نزدیکترین مرکزشان نسبت می‌دهد، و دوباره مرکز خوشه‌های ایجاد شده را محاسبه می‌کند. این تکرارها تا زمانی ادامه پیدا می‌کند که شرایط توقف ارضاء شوند. (مومنی، ۱۳۹۰).
مراحل اصلی الگوریتم K-means را می‌توان به صورت زیر خلاصه نمود:
مرحله ۱: انتخاب تصادفی K نقطه به عنوان مراکز ثقل اولیه.
مرحله ۲: تخصیص هر نقطه به نزدیکترین مرکز ثقل.
مرحله ۳: به روز رسانی محل‌های هر مرکز ثقل بوسیله محاسبه میانگین مقدار نقاط تخصیص داده شده به مرکز.

(دنتزیگ و رامسر، ۱۹۵۹). هر کدام از این جریانات می‌بایست از یک دپو شروع شده و با آن نیز ختم گردد. هدف اصلی در این مسئله طراحی و بهینه سازی مجموعه ای از مسیرها برای وسایل نقلیه می‌باشد به گونه ای که در حداقل زمان سفر و یا با حداقل مسافت طی شده به تمامی مشتریان سرویس دهد.
دسزوپرز^{۱۸}، مسئله مسیریابی وسیله نقلیه با توالی محدود تحویل و بارگیری^{۱۹} را مورد خطاب قرار داده و یک روش ابتکاری چند فازه ی سازنده را ارائه می‌دهد، به گونه ای که گره‌ها را بر اساس نزدیکی خوشه بندی میکند و آنها را در طول مسیر با استفاده از الگوریتم Shrink-wrap تطبیق داده و وسایل نقلیه را با استفاده از روش تعمیم، تخصیص می‌دهد و در نهایت از الگوریتم ژنتیک برای جستجوی نهایی استفاده می‌کند (دسزوپرز، ۱۹۹۰).
توکلی مقدم، مسئله مسیریابی وسایل نقلیه با وجود پنجره‌های زمانی نرم در سرویس به مشتریان بوسیله روش فرا ابتکاری تلفیقی از آنیلینگ شبیه سازی شده^{۲۰} با اپراتورهای ژنتیک را حل کرده و نتایج محاسباتی با حل‌های بدست آمده را با نرم افزار لینگو ۶ مقایسه نموده است (توکلی مقدم، ۱۳۸۵).

سوها^{۲۱} در مقاله ی خود، سفر وابسته به زمان و زمان واقعی را به عنوان یک مدل برنامه ریزی مختلط عدد صحیح و زمان واقعی مطالبات در چارچوب واحد و یکپارچه، فرموله کرده و همچنین یک مدل ابتکاری پیشنهاد می‌دهد که شامل ساخت و ساز مسیر و بهبود مسیر می‌باشد (سوها، ۲۰۰۶).
پوتین^{۲۲} یک مسئله برنامه ریزی و مسیریابی پویای وسیله نقلیه با پنجره زمانی را تشریح کرده است، که در آن خواست مشتری تحت زمان واقعی و زمان سفر پویا در نظر گرفته شده است. واکنش‌های توزیع استراتژی‌هایی هستند که از طریق تنظیم یک پارامتر "محدودیت"^{۲۳} تعریف و مقایسه شده اند (پوتین، ۲۰۰۶).

رادولف دوند^{۲۴} یک رویکرد جدید سه فازه برای مسئله مسیریابی چند انباره با پنجره زمانی و وسایل نقلیه ناهمگن را ارائه داده که از تعبیه یک روش ابتکاری مبتنی برخوشه بندی در درون یک چارچوب بهینه سازی VRPTW^{۲۵} مشتق شده است (رادولف دوند ، ۲۰۰۷).
هانتاوی^{۲۶} در مقاله خود، مسئله مسیریابی وسیله نقلیه ظرفیت دار با تقاضای تصادفی و پنجره زمانی گسترش یافته را به عنوان یک برنامه تصادفی، در نظر گرفته و یک جستجوی اکتشافی بزرگ تطبیقی را به عنوان راه حل پیشنهاد می‌دهد. همچنین در آزمایشات معیار سالمون^{۲۷} اصلاح شده مورد استفاده قرار گرفته است (هانتاوی لی، ۲۰۱۱).

طی یک تحقیق توسط لیاو^{۲۸}، برای مسئله مسیریابی پویای وسایل نقلیه دو مرحله پیشنهاد شده است، مرحله اول "روش تجسس"^{۲۹} به منظور وظیفه دهی به وسایل نقلیه و مرحله دوم از الگوریتم جستجوی ممنوعه^{۳۰} به منظور بهبود مسیرهای تحت اطلاعات زمان واقعی. این سیستم برای رویکردهای موضوعی جهت دار اجرا شده است. مطالعه موردی با ۵۰ گره در شهر تایچونگ صورت گرفته و



شکل ۲. فاز ۱ حل مسئله مسیریابی لجستیک میلک ران با محدودیت زمانی و تقاضای ناسازگار

۳-۲-۲. فاز ۲: مدل ریاضی پیشنهادی VRP-LMR^{۲۴}

در فاز دوم، مسیریابی بهینه برای مجموعه تامین کنندگان $S = \{1, \dots, n\}$ که در یک خوشه قرار می گیرند، توسط مدل ریاضی پیشنهادی که از مدل VRPTW^{۲۵} الهام گرفته شده و توسعه یافته است، صورت می پذیرد. این مدل که آنرا VRP-LMR می نامیم به صورت تفصیلی در ادامه ارائه می شود.

۳-۲-۲-۱. تعریف پارامترها و متغیرها مورد استفاده

X_{ij}^k : متغیر تصمیم می باشد که در صورتیکه وسیله نقلیه k مسیر تامین کننده i به تامین کننده j را طی کند برابر ۱ و در غیر اینصورت مقدار آن صفر می باشد.

G_{ij}^k : هزینه حمل و نقل از تامین کننده i به j توسط وسیله نقلیه k

Ca_k : حداکثر ظرفیت وسیله نقلیه k

Q_i : تقاضای تامین کننده i برای حمل

t_{ij} : زمان مورد نیاز برای سفر از تامین کننده i به j توسط وسیله نقلیه k (زمان استاندارد برای بارگیری و تخلیه نیز در آن لحاظ شده است)

e_k : زمان سفر غیر مجاز برای وسیله نقلیه k

UB_k : حداکثر زمان سفر مجاز برای وسیله نقلیه k

PE_k : جریمه دیرکرد وسیله نقلیه k در واحد زمان

D_k : میزان دیر کرد وسیله نقلیه k برای پیمودن یک تور

ω_1 : وزن (اهمیت) بخش اول تابع هدف

ω_2 : وزن (اهمیت) بخش دوم تابع هدف، به گونه ای که

$$(\omega_1 + \omega_2 = 1)$$

مرحله ۴: تکرار مراحل ۲ و ۳ تا زمانی که شرایط توقف ارضا شود، یعنی حداکثر تعداد تکرارها حاصل شود یا تغییری در محل مراکز ثقل حاصل نشود.

۳. مدل ریاضی پیشنهادی

۳-۱. شرح مسئله مسیریابی لجستیک میلک ران با محدودیت زمانی و تقاضای ناسازگار

در این مسئله فرض بر این است که یک دپوی مرکزی (S1) وجود دارد به گونه ای که مجموعه وسایل حمل و نقل همگن در دسترس $V = \{1, \dots, k\}$ در آن قرار گرفته اند و هر وسیله حمل و نقل دارای حداکثر ظرفیت حمل Ca_k می باشد که تجاوز از آن به هیچ وجه قابل قبول نبوده و یکی از شرایط توجیه پذیری مسأله نیز می باشد.

برای هر وسیله حمل و نقل حداکثر زمان سفر مجاز UB_k تعریف شده است و اگر چنانچه زمان سفر بیشتر از حد تعریف شده باشد جریمه PE_k برای آن خودرو در نظر گرفته می شود. همچنین بمنظور جلوگیری از مشکلات ناشی از دیر کرد زمان تحویل کالا (بعنوان مثال توقف خط تولید) زمان سفر غیر مجاز e_k برای هر وسیله حمل و نقل تعریف می شود. تجاوز از این زمان تعیین شده به هیچ وجه قابل قبول نبوده و به نوعی این موضوع شرط توجیه پذیری مسأله مورد نظر فرض شده است.

مجموعه تامین کنندگان $N = \{1, \dots, n\}$ با فواصل d_{ij} موجود می باشند (S1 دپو مرکزی می باشد)، به گونه ای که هر تامین کننده دارای تقاضای Q_i برای حمل می باشد. حمل و نقل تقاضای تامین کنندگان دارای محدودیت می باشد به گونه ای که برخی از کالاها نمی توانند توسط یک وسیله نقلیه بصورت همزمان حمل شوند. t_{ij} زمان لازم برای طی مسیر از تامین کننده i به j توسط وسیله نقلیه k بعلاوه زمان لازم برای بارگیری و تخلیه می باشد.

۳-۲. مدل پیشنهادی برای مسئله مسیریابی لجستیک میلک ران با محدودیت زمانی و تقاضای ناسازگار

به منظور حل مشکل مرتبط با محدودیت عدم حمل و نقل کالاهای ناسازگار از نظر خواص فیزیکی و شیمیایی و همچنین شرایط حمل و نقل به صورت همزمان و توسط یک وسیله نقلیه، مدل پیشنهادی از ۲ فاز تشکیل شده است.

۳-۲-۱. فاز ۱: خوشه بندی تامین کنندگان

در فاز ۱ با بهره گیری از تکنیک خوشه بندی تامین کنندگان مجموعه تامین کنندگان به A خوشه تقسیم می شوند به گونه ای که تامین کنندگانی که در یک خوشه قرار می گیرند دارای تقاضای سازگار با یکدیگر می باشند. (شکل ۲)

۲-۲-۲-۲ مدل پیشنهادی VRP-LMR

$$\text{Min } z = \omega_1 \sum_{i=1}^n \sum_{j=1, i \neq j}^n \sum_{k=1}^v c_{ij}^k X_{ij}^k \quad (1)$$

$$+ \omega_2 \sum_{k=1}^v PE_k * D_k$$

$$D_k = \text{Max} \left\{ \left(\sum_{i=1, i \neq j}^n \sum_{j=1}^v X_{ij}^k * t_{ij}^k \right) - UB_k, 0 \right\} \forall k \quad (2)$$

$$\text{s.t.} \quad \sum_{k=1}^v \sum_{j=2}^n X_{ij}^k \leq k \quad \forall i = 1 \quad (3)$$

$$\sum_{j=2}^n X_{ij}^k = 1 \quad \forall k, \forall i = 1 \quad (4)$$

$$\sum_{i=2}^n X_{ij}^k = 1 \quad \forall k, \forall j = 1 \quad (5)$$

$$\sum_{k=1}^v \sum_{j=1, j \neq i}^n X_{ij}^k = 1 \quad \forall i > 1 \quad (6)$$

$$\sum_{k=1}^v \sum_{i=1, i \neq j}^n X_{ij}^k = 1 \quad \forall j > 1 \quad (7)$$

$$\sum_{i=2}^n q_i \left[\sum_{j=1}^n X_{ij}^k \right] \leq Ca_k \quad \forall k \quad (8)$$

$$\sum_{i=1, i \neq p}^n X_{ip}^k - \sum_{j=1, j \neq p}^n X_{pj}^k = 0 \quad p: \{2, \dots, n\}, \forall k \quad (9)$$

$$\sum_{i=1, i \neq j}^n \sum_{j=1}^n X_{ij}^k * t_{ij}^k \leq e_k \quad \forall k \quad (10)$$

$$X_{ij}^k \in \{0, 1\} \quad \forall v, i, j \quad (11)$$

۳-۲-۲-۳ بررسی تابع هدف و محدودیتهای مدل VRP-LMR

تابع هدف بر اساس رابطه (۱) محاسبه می شود، که شامل دو بخش می باشد. بخش اول که در راستای کمینه سازی هزینه های سفر گام بر می دارد و بخش دوم به جهت کاهش هزینه های ناشی از تجاوز از حداکثر زمان مجاز UB_k برای هر وسیله حمل و نقل طراحی شده است.

محدودیت (۳) تضمین می کند که مسیره های خارج شده از دیو بیشتر از تعداد کل وسایل حمل و نقل نمی باشند. محدودیت (۴) بررسی می کند که هر وسیله نقلیه تنها یکبار از دیو خارج می شود و محدودیت (۵) به این مورد می پردازد که تمامی وسایل حمل و نقل به دیو باز می گردند. محدودیتهای (۶) و (۷) تضمین می کنند که هر تامین کننده فقط توسط یک وسیله نقلیه سرویس داده می شود.

در محدودیت (۸) شرط توجیه پذیری مسئله در ارتباط با حداکثر ظرفیت حمل کالا توسط وسیله نقلیه k بررسی می شود. محدودیت (۹) به دلیل تعیین توالی مسیره ها طراحی شده به گونه ای که

وسيله نقلیه ای که وارد هر گره شد، باید از آن خارج شود. و محدودیت (۱۰) شرط توجیه پذیری مسئله در خصوص عدم تجاوز از زمان سفر غیرمجاز e_k برای هر وسیله حمل و نقل را بررسی می نماید.

۳-۳ اعتبار سنجی مدل VRP-LMR

برای اعتبار سنجی و چگونگی تأثیر تابع هدف و محدودیتهای مدل، یک مسئله با ابعاد کوچک بررسی می شود، و توسط نرم افزار لینگو حل خواهد شد.

۳-۳-۱ طرح یک مثال عددی

مجموعه تامین کنندگان شامل $S = \{s1, s2, s3, s4, s5, s6, s7, s8\}$ که $s1$ دیو می باشد، و مجموعه وسایل حمل و نقل همگن در دسترس $V = \{v1, v2, v3, v4\}$ می باشد. تامین کنندگان توسط دو شاخص a و b (که a شرایط حمل و نقل و b خواص قطعات است شناخته می شوند، که در جدول (۱) مشاهده می شود.

جدول ۱. شاخص های تامین کنندگان

تامین کننده							شاخص
S8	S7	S6	S5	S4	S3	S2	
۳	۲	۳	۳	۱	۱	۱	A
۲	۲	۳	۲	۱	۲	۱	B

۳-۳-۲ فاز اول: خوشه بندی تامین کنندگان توسط نرم افزار متلب

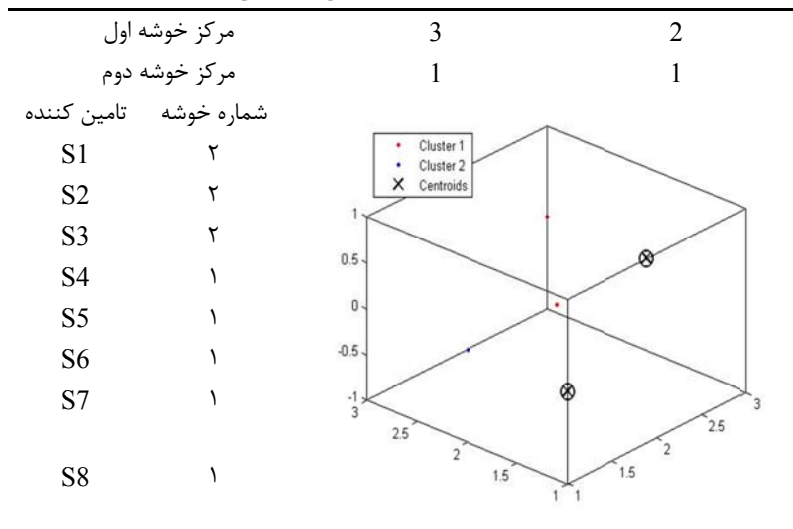
در فاز اول، به منظور رعایت شرایط حمل و نقل و ایجاد سازگاری در قطعاتی که با یکدیگر حمل می شوند، بوسیله نرم افزار متلب تامین کنندگان را خوشه بندی می کنیم که نتایج بدست آمده در جدول شماره (۲) قابل مشاهده می باشد.

بنابراین در فاز اول تامین کنندگان به دو خوشه زیر تقسیم بندی می شوند.

$S' = \{s2, s3, s4\}$, $S'' = \{s5, s6, s7, s8\}$
اطلاعات تامین کنندگان خوشه S' : d_{ij} ماتریس مقایسات زوجی فواصل تامین کنندگان بر حسب km و C_{ij}^k ماتریس هزینه حمل و نقل از تامین کننده i به j توسط وسیله نقلیه k برحسب هزار تومان به صورت زیر باشد:

$$d_{ij} = \begin{bmatrix} 0 & 30 & 50 & 80 \\ 30 & 0 & 20 & 30 \\ 50 & 20 & 0 & 20 \\ 80 & 30 & 20 & 0 \end{bmatrix}; C_{ij}^k = \begin{bmatrix} [0] & [50] & [120] & [180] \\ [0] & [70] & [150] & [200] \\ [50] & [0] & [40] & [50] \\ [70] & [0] & [65] & [70] \\ [120] & [40] & [0] & [30] \\ [150] & [60] & [0] & [50] \\ [180] & [50] & [30] & [0] \\ [200] & [70] & [50] & [0] \end{bmatrix}$$

جدول ۲. خوشه بندی تامین کنندگان



$$t_{ij}^k = \begin{bmatrix} [0] & [1] & [2] & [2.5] & [3] \\ [0] & [1.5] & [3] & [3.5] & [4] \\ [1] & [0] & [3] & [1.5] & [2.5] \\ [1.5] & [0] & [4] & [2] & [3.5] \\ [2] & [3] & [0] & [2.5] & [1] \\ [3] & [4] & [0] & [3.5] & [1.5] \\ [2.5] & [1.5] & [2.5] & [0] & [1] \\ [3.5] & [2] & [3.5] & [0] & [1.5] \\ [3] & [2.5] & [1] & [1] & [0] \\ [4] & [3.5] & [1.5] & [1.5] & [0] \end{bmatrix}$$

$$q_i = [0 \ 8 \ 4 \ 6 \ 6], Ca_k = [12 \ 16], e_k = [8 \ 10]$$

$$PE_k = [300 \ 400], UB_k = [6 \ 6]$$

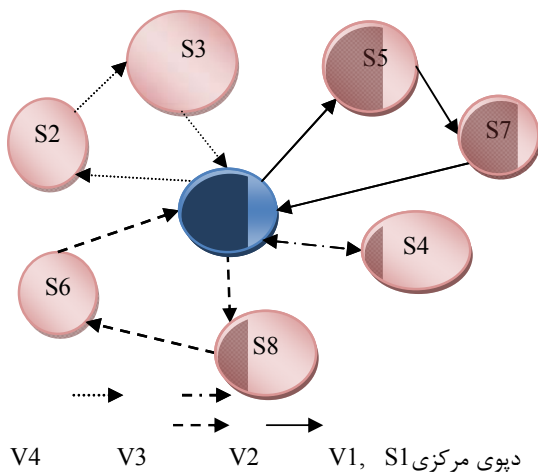
t_{ij}^k زمان مورد نیاز برای سفر از تامین کننده i به j توسط وسیله نقلیه k بعلاوه زمان استاندارد برای بارگیری و تخلیه بر حسب ساعت می باشد، q_i تقاضای تامین کننده و Ca_k حداکثر ظرفیت وسیله نقلیه (بر حسب تعداد پالت)، UB_k حداکثر زمان سفر مجاز و e_k زمان سفر غیر مجاز (بر حسب ساعت) به صورت زیر می باشد.

$$t_{ij}^k = \begin{bmatrix} [0] & [1] & [2] & [2.5] \\ [0] & [1.5] & [3] & [3.5] \\ [1] & [0] & [3] & [1.5] \\ [1.5] & [0] & [4] & [2] \\ [2] & [3] & [0] & [2.5] \\ [3] & [4] & [0] & [3.5] \\ [2.5] & [1.5] & [2.5] & [0] \\ [3.5] & [2] & [3.5] & [0] \end{bmatrix}, q_i = [0 \ 6 \ 4 \ 8], Ca_k = [10 \ 12], e_k = [8 \ 10]$$

۳-۴-۳. فاز دوم: حل مسئله توسط نرم افزار لینگو در خوشه S'' و S'

مسئله مفروض را توسط نرم افزار لینگو ۸ کد می کنیم. پس از اجرا، جواب بهینه بدست آمده برای تامین کنندگان هر دو خوشه در پیوست شماره ۱ قابل مشاهده می باشد. همچنین مسیر بهینه نهایی را در شکل ۳ مشاهده می فرمایید.

اطلاعات تامین کنندگان خوشه S'' : d_{ij} ماتریس مقایسات زوجی فواصل تامین کنندگان بر حسب km و C_{ij}^k ماتریس هزینه حمل و نقل از تامین کننده i به j توسط وسیله نقلیه k بر حسب هزار تومان به صورت زیر باشد.



شکل ۳. مسیرهای بهینه مثال عددی

$$C_{ij}^k = \begin{bmatrix} [0] & [30] & [50] & [20] & [10] \\ [0] & [50] & [70] & [30] & [20] \\ [30] & [0] & [40] & [260] & [130] \\ [50] & [0] & [60] & [300] & [160] \\ [50] & [40] & [0] & [120] & [130] \\ [70] & [60] & [0] & [150] & [160] \\ [20] & [260] & [120] & [0] & [210] \\ [30] & [300] & [150] & [0] & [230] \\ [10] & [130] & [130] & [210] & [0] \\ [20] & [160] & [160] & [230] & [0] \end{bmatrix}$$

بهره گیری از الگوریتم ژنتیک برای حل مسئله TSP^{۴۲} و نوع پنجره زمانی مساله VRP نموده اند (قصیری، ۱۳۸۵).

۴-۲. طراحی الگوریتم ژنتیک برای حل مسئله مسیریابی لجستیک میلک ران با محدودیت زمانی و تقاضای ناسازگار

برای دستیابی به یک الگوریتم ژنتیک مناسب یکی از مهمترین اقدامات طراحی یک کروموزوم مناسب و سپس استخراج جواب مسئله از کروموزوم است. ساختار اجرایی الگوریتم طراحی شده بدین صورت است که ابتدا جمعیت یا نسل اولیه کروموزومها تولید می شوند. در تولید این نسل از رویه تولید تصادفی استفاده شده است. سپس تابع برازندگی کروموزومها محاسبه می گردند. اندازه جمعیت هر نسل که یک پارامتر الگوریتم ژنتیک می باشد در طول اجرای الگوریتم ثابت باقی می ماند. هر نسل از روی نسل قبل بوسیله سه عملگر تکثیر، تقاطع و جهش تولید می شود. نسلهای جدید در میان جمعیت قبل که میزان برازندگی آن از میانگین کمتر می باشد، توسط عملگر جایگزینی، قرار خواهند گرفت و این مراحل تا زمانی که شرایط توقف ارضاء شود، ادامه خواهد یافت. در پایان کروموزومی که دارای بهترین مقدار برازندگی می باشد به عنوان جواب معرفی خواهد شد.

۴-۲-۱. نمایش کروموزومها

بمنظور نمایش یک جواب برای مسئله در این الگوریتم از یک کروموزوم دو بعدی عدد صحیح استفاده شده که تعداد سطرهای آن به تعداد تامین کنندگان و تعداد ستون آن به اندازه تعداد وسایل حمل و نقل در دسترس می باشد. هر ستون مسیری که وسیله نقلیه طی می کند را نشان می دهد و ابتدا و انتهای هر مسیر دپو می باشد. این کروموزوم به گونه ای طراحی شده است که محدودیتهای شماره (۳)، (۴)، (۵)، (۶)، (۷)، (۹) مطرح شده در بخش (۳-۲) را بررسی می کند. جدول ۲ نشان دهنده یک جواب برای مسئله ای شامل ۳ تامین کننده و ۲ وسیله حمل و نقل می باشد. و تفسیر آن بدین صورت می باشد که مسیر وسیله نقلیه ۱ از دپو شروع شده و ابتدا به تامین کننده ۳ و سپس تامین کننده ۱ را بازدید نموده و به دپو باز می گردد.

جدول ۳. نمایش یک کروموزوم

	Vehicle 1	Vehicle 2
Supplier 1	۲	۰
Supplier 2	۰	۱
Supplier 3	۱	۰

۴-۲-۲. تشکیل جمعیت اولیه^{۴۳}

در این پژوهش بمنظور تشکیل جمعیت اولیه، بصورت تصادفی به هر ژن یک عدد صحیح از بازه صفر تا تعداد تامین کنندگان را به گونه ای اختصاص می دهد که هر سطر دقیقاً شامل یک عدد بزرگتر از صفر باشد. این کار بدین منظور انجام شده است که هیچ تامین

همانطور که ملاحظه گردید مدل پیشنهادی VRP-LMR قادر به یافتن جواب بهینه با توجه به محدودیت های مسئله می باشد. اما با توجه به اینکه مسئله مورد بررسی از نوع NP-Hard می باشد، در ادامه الگوریتم ژنتیک پیشنهادی برای حل مسئله مورد مطالعه ارائه خواهد شد.

۴. حل مسئله مسیریابی لجستیک Milk-Run با

الگوریتم ژنتیک

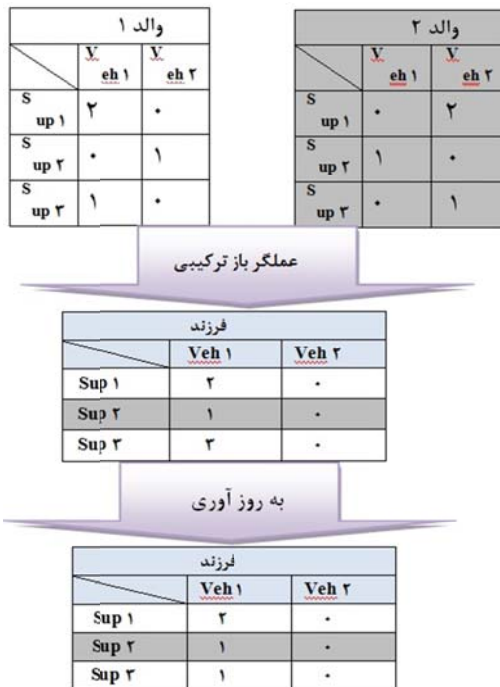
در این مقاله، به منظور حل مسئله مسیریابی لجستیک Milk-Run با محدودیت زمانی و تقاضای ناسازگار در ابعاد بزرگ یک الگوریتم ژنتیک ارائه خواهد شد و برای سنجش اعتبار الگوریتم، نتایج آن با جوابهای دقیق حاصل از نرم افزار لینگو مقایسه می شوند.

۴-۱-۱. درآمدی بر الگوریتم ژنتیک (GA)

الگوریتم ژنتیک نخستین بار توسط هالند^{۴۴} (هالند، ۱۹۷۵) در دانشگاه میشیگان مطرح شد و در سال ۱۹۸۹ توسط گلدبرگ^{۴۵} توسعه داده شده است (گلدبرگ، ۱۹۸۹). این الگوریتم یکی از تکنیکهای جستجوی فرا ابتکاری می باشد که شامل تعداد ثابتی کروموزوم است و هر کروموزوم خود شامل یک یا چند ژن می باشد. این کروموزومها دارای طول ثابت هستند که یا باینری و یا به صورت رشته ای و عدد صحیح بوده و هر کدام از آنها نشان دهنده یک جواب می باشند. بصورت کلی الگوریتم ژنتیک دارای مکانیزم انتخاب خاصی برای انتخاب والدین است تا آنها را تحت اپراتورهای تقاطع و جهش قرار داده و از آنها فرزندان جدیدی تولید نموده و جایگزین والدین نماید.

در سال ۱۹۹۶، ون بریدام (ون بریدام، ۱۹۹۶) مقایسه ای بین کاربرد الگوریتم ژنتیک و الگوریتمهای SA^{۴۸} و TS^{۴۹} بر روی مسئله CVRP^{۴۰} انجام داد و یک تحلیل آماری برای تاثیر پارامترهای متفاوت روی کیفیت جوابهای حاصل از GA و SA انجام داد. در این پژوهش یک جواب شامل چندین مسیر می باشد که در قالب یک کروموزوم نشان داده شد و برای جدا سازی مسیرها از یکدیگر از عدد صفر به عنوان دپو استفاده شد.

اشمیت در سال ۱۹۹۴ و ۱۹۹۵ بر روی کاربرد GA بر روی VRP مطالعه کرده که شامل محدودیت ظرفیت و محدودیت زمان می باشد. در تحقیق مذکور دو نکته مهم مشاهده می شود: نکته اول اینکه ابتدا مسیریابی و سپس دسته بندی رئوس می باشد و نکته دوم فرم نمایش مسیر می باشد. برای تبدیل کروموزوم به یک جواب نیز از رویه پیمایش استفاده شده به گونه ای که از رأسی شروع به کار شده است که در موقعیت اول هر رشته قرار دارد و یک مسیر زمانی پایان می یابد که ظرفیت و یا حداکثر زمان سفر با اضافه شدن رأس بعدی تجاوز نکند. همچنین از اپراتور تقاطع OX و اپراتور جهش تعویض^{۴۱} برای جهش استفاده شده است (اشمیت، ۱۹۹۴ و اشمیت، ۱۹۹۵). بطور کل محققان تلاش زیادی بمنظور



شکل ۴. مرحله باز ترکیبی و تولید فرزند

۴-۲-۲-۴. مرحله جهش^{۴۸}

این عملگر ژنتیکی به صورت تصادفی می‌تواند بر روی یک و یا چند فرزند عمل کند، بدین صورت که تغییر تصافی در یک یا چند ژن کروموزم ایجاد می‌کند. در این عملگر نیز همچون عملگر تقاطع هیچ تضمینی برای بهتر شدن کروموزم جهش یافته وجود ندارد و این کار تنها به امید دستیابی به جواب بهتر انجام می‌شود.

در این پژوهش از میان عملگرهای ژنتیکی که بصورت معمول در الگوریتمهای ژنتیکی استفاده می‌شوند مانند تغییر بیت با احتمال ثابت، درج^{۴۹}، تعویض^{۵۰}، عکس^{۵۱}، درهم^{۵۲} و... از عملگر تعویض بهره می‌گیریم (تان، ۲۰۰۱). بدین صورت که این عملگر m ٪ از فرزندان تولید شده از طریق عملگر تقاطع را انتخاب کرده و بر روی آنها عمل جهش را انجام می‌دهد. بطوریکه، دو ژن از یک ستون را به صورت تصادفی انتخاب نموده و مقادیر آن را عوض می‌کند (شکل شماره ۵). پارامتر m از طریق تاگوچی برآورد می‌شود.

کننده ای توسط بیشتر از یک وسیله نقلیه بازدید نشود و همچنین در هر جواب از تمامی تامین کنندگان نیز بازدید شود. سپس برای هر کروموزوم تابع برازش طبق رابطه (۱۲) محاسبه می‌شود و بر اساس مقدار آن مرتب می‌شوند.

$$Z_{fitness} = W_1 Z_1 + W_2 Z_2 + W_3 Z_3 + W_4 Z_4 \quad (12)$$

در تابع برازندگی فوق W_1 و W_2 وزن (اهمیت) می‌باشند که در بخش ۱-۲-۳ توضیح داده شد و Z_1 هزینه مسیر طی شده توسط وسایل حمل و نقل و Z_2 هزینه‌های ناشی از تجاوز از حداکثر زمان مجاز UB_k برای وسایل حمل و نقل می‌باشد. همچنین در این تابع به منظور ناموجه کردن جوابهایی که حداکثر ظرفیت وسایل نقلیه Ca_k و محدودیت زمان سفر غیر مجاز e_k را نقض نموده اند، به ترتیب Z_3 (مقدار تجاوز از ظرفیت وسایل نقلیه در هر مسیر) و Z_4 (میزان تجاوز از زمان سفر غیر مجاز در هر مسیر) به تابع برازندگی اضافه شده است و برای هر کدام جرایم W_3 و W_4 در نظر گرفته شده است.

۴-۲-۳. روش انتخاب والدین^{۴۴}

روش انتخاب بدین صورت طراحی شده است که برای انتخاب هر والد، از کل جمعیت اولیه n ٪ از کروموزومها را به صورت تصادفی انتخاب و از این n ٪ آن کروموزومی که دارای برازندگی بهتر می‌باشد، به عنوان والد انتخاب می‌شود. پارامتر n از طریق تاگوچی برآورد می‌شود. سپس والدی انتخاب شده در دو گروه دسته‌بندی می‌شوند.

۴-۲-۴. تولید مثل

بصورت تصادفی یازای هر والد از دسته اول، یک والد از میان دسته دوم به منظور تولید فرزند انتخاب می‌شود. فرآیند تکثیر شامل دو فرآیند تقاطع و جهش می‌باشد که در ادامه به توضیح آن خواهیم پرداخت.

۴-۲-۴-۱. مرحله تقاطع^{۴۵}

این فرآیند با دریافت اطلاعات دو والد و تولید یک یا چند فرزند از طریق ادغام اطلاعات آنها صورت می‌پذیرد. طبیعتاً فرزندان که طی این فرآیند تولید می‌شوند می‌توانند دارای تابع برازش بهتر، مساوی و یا بدتر از والدین خود باشند. عملگرهای کلاسیک تقاطع مانند تقاطع یک نقطه ای، تقاطع n نقطه ای، برش و اتصال و ... در مسائل ترتیبی مانند TSP و VRP مناسب نمی‌باشند چرا که ممکن است دچار تکرار و یا حذف برخی ژنها شوند که موجه نیست. بنابراین در این مطالعه از عملگر PMX^{۴۶} و تقاطع مرتبه ۱^{۴۷} استفاده شده است. بدین صورت که ابتدا یک کروموزوم جدید ایجاد شده و به صورت تصادفی هر سطر را از سطرهای والدین جایگزین می‌کنیم و سپس اعداد هر ستون به روز آوری می‌شوند (شکل شماره ۴).

جدول ۴. ابعاد مسئله

ابعاد	۱	۲	۳	۴	۵	۶
(S _۷ , V)	(۳و۲)	(۴و۲)	(۵و۳)	(۶و۳)	(۶و۴)	(۷و۴)
ابعاد	۷	۸	۹	۱۰	۱۱	۱۲
(S _۷ , V)	(۸و۳)	(۸و۴)	(۹و۳)	(۹و۴)	(۱۰و۳)	(۱۰و۴)

۵-۲. تنظیم پارامتر به روش تاگوچی

در استفاده از الگوریتمهای فراابتکاری نکته ای که بسیار اهمیت دارد این است که پارامترهایی که در آن الگوریتم استفاده می شوند به بهترین نحو انتخاب شوند تا بتوانند باعث کارآمدی الگوریتم شوند، چرا که در بعضی مواقع عدم استفاده مناسب از اعداد مربوط به پارامترها آن را به یک الگوریتم ناکارآمد تبدیل می کند.

روش تاگوچی یک رویکرد سیستماتیک، ساده و در عین حال کارا برای بهینه سازی پارامترهای هر الگوریتم، با استفاده از یک مجموعه محدودی از آزمایشات، ارائه می کند. تاگوچی دارای سه مرحله مختلف است (مونت گمری، ۱۳۸۵):

۱- طرح ریزی ۲- اجرا ۳- تجزیه و تحلیل

۵-۲-۱. طرح ریزی

در این مرحله، فاکتورهای متنوع و سطوح آنها که بر مشخصه یا مشخصات عملکرد فرآیند مورد بررسی اثر دارند، تعیین می شوند. در الگوریتم ژنتیک پارامترهایی نظیر اندازه جمعیت، نرخ هرکدام از عملگرهای تقاطع و جهش و همچنین شرایط توقف الگوریتم بعنوان ورودی الگوریتم شناخته می شوند که هر کدام دارای اهمیت ویژه ای بوده و بر عملکرد الگوریتم تاثیر گذار می باشند. سپس باید تعداد سطوح مورد نیاز (بطور دلخواه) را با توجه به نوع الگوریتم و نوع مسئله مورد بررسی بیان کنیم. در جدول شماره (۴) پارامترهای موثر و تعداد سطوح الگوریتم پیشنهادی مشخص شده است و متغیر پاسخ مقدار تابع برازندگی قرار داده شده است. نرخ عملگر تقاطع متاثر از نرخ عملگر جهش است و دقیقا برابر در نظر گرفته شده است. چون همانطوری که گفته شد به ازای تولید هر فرزند از طریق عملگر جهش، ابتدا از طریق عملگر تقاطع یک فرزند تولید شده و بر روی فرزند تولید شده جهش انجام می شود.

جدول ۵. انتخاب سطوح پارامترهای موثر

سطح	L1	L2	L3	L4
تعداد کل جمعیت	۵۰	۱۰۰	۲۰۰	۳۰۰
احتمال انتخاب والدین (n)	٪۲	٪۵	٪۷	٪۱۰
احتمال انجام عملگر جهش (m)	٪۱	٪۳	٪۵	٪۷
تعداد تکرار(شرط توقف)	۵۰	۲۵۰	۵۰۰	۱۰۰۰

با توجه با اینکه ۴ عامل موثر و ۴ سطح را انتخاب کرده ایم تاگوچی ۱۶ آزمایش را پیشنهاد می دهد. متوسط مقدار تابع

Vehicle Supplier	۱	۲
۱	۲	۰
۲	۱	۰
۳	۳	۰

جهش توسط عملگر تعویض

Vehicle Supplier	۱	۲
۱	۱	۰
۲	۲	۰
۳	۳	۰

شکل ۵. فرآیند جهش توسط عملگر تعویض

۴-۲-۵. مرحله جایگزینی

در این مرحله فرزندهای تولید شده، به صورت تصادفی با کروموزمهایی که برازندگی آنها از میانگین کمتر می باشد، جایگزین می شود.

۴-۲-۵. تهیه نرم افزار GA-VRPLMR^{۵۲} و اعتبار سنجی آن

به منظور حل مسئله اشاره شده، نرم افزار GA-VRPLMR بر اساس الگوریتم پیشنهادی طراحی و توسط زبان ویژوال بیسیک^{۵۴} تهیه شده است و در ادامه به منظور اعتبار سنجی آن مثال بخش ۳-۱-۳ برای تامین کننده های خوشه 'S' و 'S' را توسط این نرم افزار حل می کنیم و با مقایسه آن با جوابهای حاصل از حل دقیق توسط لینگو نرم افزار تهیه شده مورد صحت گذاری واقع می شود. (خروجی این نرم افزار برای حل مثال مورد بحث در پیوست ۲ آورده شده است).

۵. نتایج محاسباتی

در این بخش ابتدا به تنظیم پارامترهای الگوریتم ژنتیک پرداخته و سپس به اجراء مسائل نمونه تعریف شده و تحلیل نتایج می پردازیم. الگوریتم پیشنهادی توسط نرم افزار GA-VRPLMR در محیط ویژوال بیسیک و مدل ارائه شده با برنامه لینگو ۸ در کامپیوتری با مشخصات ۲ گیگا بایت حافظه و پردازشگر Intel Dual Core E2200, 2.20GHz و تحت سیستم عامل ویندوز XP حل شده اند. برای مقایسه جواب الگوریتم با جواب مدل، از معیار درصد انحراف نسبی، استفاده می شود.

۵-۱. تولید مسائل تصادفی

تعداد ۱۲ مسئله نمونه در محیط لجستیک میلک ران تعریف می کنیم، به گونه ای که تعداد تامین کنندگان (S) توزیع یکنواخت بین ۳ تا ۱۰ و تعداد وسایل حمل و نقل (V) توزیع یکنواخت بین ۱ تا ۴ می باشد. ابعاد مسئله در جدول (۳) قابل مشاهده می باشد.

برازندگی برای مسائل حل شده را در ستون سمت راست جدول ۵ مشاهده می فرمایید.

جدول ۶. متوسط مقدار تابع برازندگی

مقدار تابع برازندگی	سطح	ردیف
۱۰۵۷	۱	۱
۸۲۶	۲	۲
۸۶۸	۳	۳
۹۳۱	۴	۴
۸۸۹	۲	۵
۷۲۱	۲	۶
۷۲۸	۲	۷
۹۴۵	۲	۸
۶۷۹	۳	۹
۸۱۹	۳	۱۰
۸۵۴	۳	۱۱
۷۴۲	۳	۱۲
۷۳۵	۴	۱۳
۱۰۲۲	۴	۱۴
۷۸۴	۴	۱۵
۷۲۱	۴	۱۶

۱۶۳.۱۷	۴۴.۲۵۲۸-	۱۶۳.۱۷	۴	۳	۱	۳
۸۱.۸۸	۳۸.۲۶۳۶-	۸۱.۸۸	۳	۴	۲	۳
۴۲.۱۲	۳۲.۴۸۹۸-	۴۲.۱۲	۲	۱	۳	۳
۹.۲۷	۱۹.۳۴۱۶-	۹.۲۷	۱	۲	۴	۳
۶۲.۶۵	۳۵.۹۳۸۴-	۶۲.۶۵	۲	۴	۱	۴
۱۳.۹۸	۲۲.۹۱۰۱-	۱۳.۹۸	۱	۳	۲	۴
۲۴۷.۱۸	۴۷.۸۶۰۳-	۲۴۷.۱۸	۴	۲	۳	۴
۱۲۵.۴۶	۴۱.۹۷۰۱-	۱۲۵.۴۶	۳	۱	۴	۴
۲.۳۸	۷.۵۳۱۵-	۲.۳۸	۱	۱	۱	۱

۵-۳. تجزیه و تحلیل

بعد از اینکه کلیه SNRها و MEAN پاسخها به ازای هر یک از آزمایشات محاسبه شدند، برای تجزیه و تحلیل داده‌های حاصل از اجرای آزمایشات، از روش تحلیل نمودارهای ایجاد شده از نرم افزار Minitab برای رویکرد تاگوچی استفاده می‌کنیم. در این رویکرد، نمودارهای متوسط نسبتهای SNR و نیز متوسط میانگین پاسخها برای هر فاکتور و به ازای سطوح مختلف آنها ترسیم می‌شوند. در این نمودارها سطوح بهینه هر فاکتور جایی است که:

(۱) نمودار SNR ماکزیمم شود.

(۲) نمودار میانگین پاسخها (MEAN) مینیمم شود.

لذا جدول بهینه تاگوچی مساله الگوریتم ژنتیک با توجه به تابع برازندگی مطابق جدول ۷ می‌باشد.

جدول ۸. جدول بهینه تاگوچی

تعداد کل جمعیت	۳۰۰
احتمال انتخاب والدین	٪۵
احتمال انجام عملگر جهش	٪۳
تعداد تکرار (شرط توقف)	۱۰۰۰

۵-۲-۱. اجرا

در این قسمت باید SNR و MEAN را برای مسائل مورد بررسی با توجه به رابطه (۱۳) بدست آوریم. سپس با داشتن ترتیب انجام آزمایشهایی که توسط روش تاگوچی مشخص شده و مقادیر SNR و MEAN نمودارهای SNR و MEAN را برای تجزیه و تحلیل رسم می‌کنیم. نتایج حاصل از اجرای طراحی تاگوچی توسط نرم افزار Minitab 16 در پیوست ۳ و مقادیر SNR و MEAN محاسبه شده در نرم افزار در جدول ۶ مشاهده می‌شود.

$$SNR = -10 \log_{10} \left(\sum \frac{Y^2}{n} \right) \quad (13)$$

جدول ۷. متوسط مقدار تابع برازندگی

MEAN	SNRA	Fitness	D	C	B	A
۲.۳۸	۷.۵۳۱۵-	۲.۳۸	۱	۱	۱	۱
۱۰.۶۴	۲۰.۵۳۸۸-	۱۰.۶۴	۲	۲	۲	۱
۲۱.۲۵	۲۶.۵۴۷۲-	۲۱.۲۵	۳	۳	۳	۱
۴۲.۶۸	۳۲.۶۰۴۵-	۴۲.۶۸	۴	۴	۴	۱
۴۱.۹۲	۳۲.۴۴۸۴-	۴۱.۹۲	۳	۲	۱	۲
۸۲.۴۴	۳۸.۳۲۲۸-	۸۲.۴۴	۴	۱	۲	۲
۴.۶۵	۱۳.۳۴۹۱-	۴.۶۵	۱	۴	۳	۲
۲۱.۴۴	۲۶.۶۲۴۵-	۲۱.۴۴	۲	۳	۴	۲

۵-۳. حل مسائل با داده‌های مختلف توسط نرم افزار VRP-

LMR و لینگو و مقایسه آنها

در این بخش، ۱۲ مسئله در ابعاد متفاوت به وسیله نرم افزار طراحی و حل شدند که برای کاهش پیچیدگی، پارامترهای پیش فرض در نظر گرفته شدند، که نتایج در جدول شماره ۸ قابل مشاهده می‌باشند (لازم با ذکر است هزینه و زمان سفر در برخی مسائل به منظور موجه شدن مسئله متفاوت می‌باشد). یک معیار اندازه گیری برای نشان دادن اختلاف بین جوابهای حاصل از الگوریتم پیشنهادی و مدل طبق رابطه (۱۴) محاسبه می‌شود. که در آن a مقدار تابع هدف بدست آمده بر اساس مدل و b برابر متوسط مقادیر بدست آمده حاصل از ۵ بار اجرای الگوریتم توسط نرم افزار GA-VRPLMR می‌باشد. طبیعتاً هر چه مقدار GAP برای مسئله ای

کوچکتر باشد نشان دهنده جواب بهتر الگوریتم پیشنهادی می باشد.

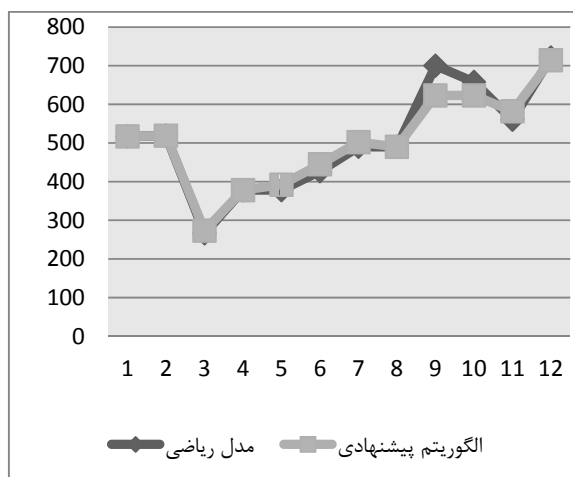
$$GAP = (b - a) / a \quad (14)$$

برای مسائل ۸ تا ۱۲ لینگو نمی تواند در کمتر از ۱۲۰۰ ثانیه به جواب برسد. لذا به جای جواب بهینه، بهترین جواب شدنی موجه برای مقایسه داده شده و زمان رسیدن به این جواب ثبت شده است. همانطور که در جدول شماره (۸) مشاهده می شود در اکثر مسائل، الگوریتم پیشنهادی به جوابهایی نزدیک جواب بهینه و در زمانی

کمتر از نرم افزار لینگو دست یافته است. الگوریتم پیشنهادی در تعداد کمی از مسائل به جواب بهینه نرسیده است، هرچند در این مسائل مقدار GAP از ۰.۴٪ کمتر می باشد. در مسائل ۹ و ۱۰ و ۱۲ الگوریتم پیشنهادی در زمان بسیار کمتر به جوابهایی بهتر از لینگو (بهترین جواب شدنی موجه) دست یافته است. ضمن اینکه در مسائل بزرگتر لینگو نتوانسته است در زمانی معقول به جوابهای مناسب دست پیدا کند در حالی که الگوریتم پیشنهادی جوابی نزدیک حد پایین تابع هدف و در زمانی معقول بدست آورده است.

جدول ۹. مقایسه جوابهای الگوریتم پیشنهادی و لینگو

مسئله	(s, v)	لینگو		الگوریتم پیشنهادی		GAP
		Best objective	Objective bound	زمان (ثانیه)	بهرین جواب (ثانیه)	
۱	(۳و۲)	۵۱۷	۵۱۷	۰	۵۱۷	0.00
۲	(۴و۲)	۵۱۹	۵۱۹	۹۶	۵۱۹	0.00
۳	(۵و۳)	۲۶۶	۲۶۶	۶۵۶۰	۲۷۳	0.03
۴	(۶و۳)	۳۷۸	۳۷۸	۹۵۶۰	۳۷۸	0.00
۵	(۶و۴)	۳۷۸	۳۷۸	۱۱۵۶۰	۳۹۲	0.04
۶	(۷و۴)	۴۲۷	۴۲۷	۱۵۵۶۰	۴۴۵	0.04
۷	(۸و۳)	۴۹۰	۴۹۰	۲۰۵۶۰	۵۰۲	0.02
۸	(۸و۴)	-	۴۹۰	-	۴۹۰	0.00
۹	(۹و۳)	-	۷۰۰	-	۶۲۳	-0.11
۱۰	(۹و۴)	-	۶۵۸	-	۶۲۳	-0.05
۱۱	(۱۰و۳)	-	۵۶۰	-	۵۸۲	0.04
۱۲	(۱۰و۴)	-	۷۲۱	-	۷۱۴	-0.01



شکل ۶. مقایسه جوابهای الگوریتم پیشنهادی با روش دقیق برای ۱۲ مسئله

با مقایسه زمانهای حل الگوریتم ژنتیک پیشنهادی و خروجی نرم افزار لینگو بر اساس آزمون فریدمن^{۵۵} (جدول شماره ۹) به این نتیجه می رسیم که بین میانگین زمان حل مدل ریاضی توسط لینگو و میانگین زمان حل مدل پیشنهادی توسط نرم افزار GA-VRPLMR تفاوت معناداری وجود داشته و الگوریتم پیشنهادی در اولویت اول قرار دارد. ضمن اینکه بر اساس نمودار شکل (۶) ملاحظه می شود که کیفیت جوابها تقریباً برابر می باشند و چون زمان محاسباتی با توجه به افزایش اندازه مسأله به صورت نمایی افزایش مییابد، با روش دقیق، حل بهینه در زمان معقول امکان پذیر نمی باشد. لذا با استفاده از الگوریتم فراابتکاری پیشنهادی هر چند ممکن است برای مسائل بزرگ به جواب دقیق ترسیم ولی می توان در زمانی معقول، جوابی نزدیک به جواب بهینه را ایجاد کرد.

جدول ۱۰. آزمون فریدمن بر روی زمان حل الگوریتم

پیشنهادی با روش دقیق

Descriptive Statistics					
Friedman Test	N	Mean	Std. Deviation	Minimum	Maximum
مدل ریاضی	12	813	465.57765	0	1200
الگوریتم پیشنهادی	12	174.08	79.61551	35	270
Friedman Test					
Friedman Test	Mean Rank				
الگوریتم پیشنهادی	۱.۰۸				
مدل ریاضی	۱.۹۲				
Test Statisticsa					
N	۱۲				
Chi-Square	۸.۳۳۳				
df	۱				
Asymp. Sig.	.۰۰۰۴				

۶. نتیجه گیری و پیشنهاد تحقیقات آتی

طراحی سیستم‌های مناسب حمل و نقل یکی از راه‌های کاهش هزینه‌ها در زنجیره تامین محسوب می‌شود. لجستیک میلک ران یکی از سیستم‌های موفق در راستای این هدف می‌باشد. در این مقاله مسیریابی بهینه در مسئله لجستیک میلک ران با محدودیت زمانی و تقاضای ناسازگار مورد مطالعه قرار گرفته و یک مدل پیشنهادی مبتنی بر خوشه بندی ارائه شد که در فاز اول تامین کنندگان را به منظور ایجاد سازگاری در مواد و قطعات مورد حمل،

خوشه بندی نموده و سپس در فاز دوم برای تامین کنندگانی که در یک خوشه قرار گرفته اند، مدلی ریاضی جهت مسیریابی بهینه با هدف کمینه کردن هزینه‌های سفر و زمان سفر با در نظر گرفتن دو محدودیت مهم حداکثر ظرفیت و زمان سفر برای هر وسیله نقلیه ارائه شد. با توجه به اینکه این مسئله از نوع مسائل NP-Hard بوده و با افزایش تعداد متغیرها و پارامترهای مسئله زمان حل بصورت نمایی افزایش می‌یابد، برای حل مسئله در ابعاد بزرگ، یک الگوریتم ژنتیک پیشنهادی ارائه و برای آن توسط زبان برنامه نویسی ویزوال بیسیک نرم افزاری تحت عنوان GA-VRPLMR طراحی گردید. برای اعتبارسنجی روش پیشنهادی، مسأله‌هایی در اندازه‌های مختلف تولید شده و توسط الگوریتم پیشنهادی و نرم افزار لینگو حل و با هم مقایسه شدند. نتایج محاسباتی نشان می‌دهند که الگوریتم پیشنهادی در زمان‌های مناسب جواب‌های قابل قبولی ارائه می‌دهد.

استفاده از مسئله مسیریابی وسایل نقلیه همراه با چند دپو، و یا مسئله مسیریابی وسایل نقلیه همراه با وسایل نا همگن، مطالعه مسئله در حالت احتمالی که در آن وجود تقاضا برای تامین کننده و یا زمان سرویس احتمالی (SVRP)^{۵۶} در نظر گرفته می‌شود، افزایش دوره برنامه ریزی به m روز توسط مسئله PVRP^{۵۷} یا همان مسئله VRP دوره ای می‌توانند به عنوان تحقیقات آتی مدنظر باشند.

پیوست ۱. خروجی نرم افزار لینگو

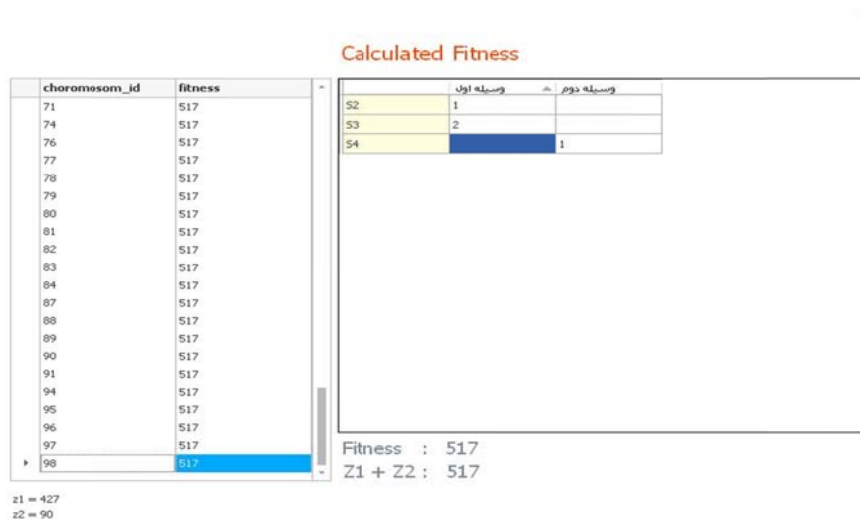
Local optimal solution found.	Variable	Value	Variable	Value
Objective value: 517.0000	X(S1, S1, V1)	0.000000	X(S3, S1, V1)	1.000000
	X(S1, S1, V2)	0.000000	X(S3, S1, V2)	0.000000
	X(S1, S2, V1)	1.000000	X(S3, S2, V1)	0.000000
	X(S1, S2, V2)	0.000000	X(S3, S2, V2)	0.000000
	X(S1, S3, V1)	0.000000	X(S3, S3, V1)	0.000000
	X(S1, S3, V2)	0.000000	X(S3, S3, V2)	0.000000
Local optimal solution found at iteration: 21	X(S1, S4, V1)	0.000000	X(S3, S4, V1)	0.000000
	X(S1, S4, V2)	1.000000	X(S3, S4, V2)	0.000000
	X(S2, S1, V1)	0.000000	X(S4, S1, V1)	0.000000
	X(S2, S1, V2)	0.000000	X(S4, S1, V2)	1.000000
	X(S2, S2, V1)	0.000000	X(S4, S2, V1)	0.000000
	X(S2, S2, V2)	0.000000	X(S4, S2, V2)	0.000000
	X(S2, S3, V1)	1.000000	X(S4, S3, V1)	0.000000
	X(S2, S3, V2)	0.000000	X(S4, S3, V2)	0.000000
	X(S2, S4, V1)	0.000000	X(S4, S4, V1)	0.000000
	X(S2, S4, V2)	0.000000	X(S4, S4, V2)	0.000000

نتایج حاصل از اجرای مثال عددی برای تامین کنندگان خوشه S' توسط نرم افزار لینگو ۸

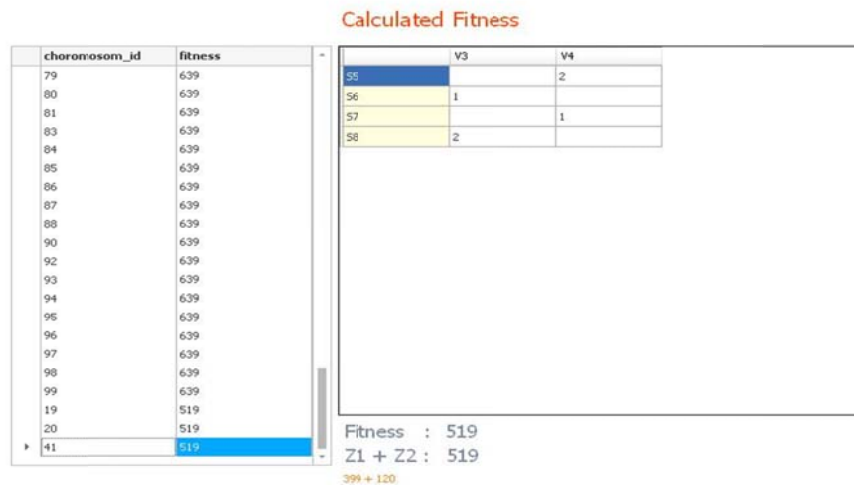
Local optimal solution found.	Variable	Value	Variable	Value
Objective value: 519.0000	X(S1, S1, V3)	0.000000	X(S6, S6, V4)	0.000000
	X(S1, S1, V4)	0.000000	X(S6, S7, V3)	0.000000
	X(S1, S5, V3)	0.000000	X(S6, S7, V4)	0.000000
	X(S1, S5, V4)	1.000000	X(S6, S8, V3)	0.000000
	X(S1, S6, V3)	0.000000	X(S6, S8, V4)	0.000000
	X(S1, S6, V4)	0.000000	X(S7, S1, V3)	0.000000
	X(S1, S7, V3)	0.000000	X(S7, S1, V4)	1.000000
	X(S1, S7, V4)	0.000000	X(S7, S5, V3)	0.000000
	X(S1, S8, V3)	1.000000	X(S7, S5, V4)	0.000000
	X(S1, S8, V4)	0.000000	X(S7, S6, V3)	0.000000
Local optimal solution found at iteration: 118774	X(S5, S1, V3)	0.000000	X(S7, S6, V4)	0.000000
	X(S5, S1, V4)	0.000000	X(S7, S7, V3)	0.000000
	X(S5, S5, V3)	0.000000	X(S7, S7, V4)	0.000000
	X(S5, S5, V4)	0.000000	X(S7, S8, V3)	0.000000
	X(S5, S6, V3)	0.000000	X(S7, S8, V4)	0.000000
	X(S5, S6, V4)	0.000000	X(S8, S1, V3)	0.000000
	X(S5, S7, V3)	0.000000	X(S8, S1, V4)	0.000000
	X(S5, S7, V4)	1.000000	X(S8, S5, V3)	0.000000
	X(S5, S8, V3)	0.000000	X(S8, S5, V4)	0.000000
	X(S5, S8, V4)	0.000000	X(S8, S6, V3)	1.000000
	X(S6, S1, V3)	1.000000	X(S8, S6, V4)	0.000000
	X(S6, S1, V4)	0.000000	X(S8, S7, V3)	0.000000
	X(S6, S5, V3)	0.000000	X(S8, S7, V4)	0.000000
	X(S6, S5, V4)	0.000000	X(S8, S8, V3)	0.000000
	X(S6, S6, V3)	0.000000	X(S8, S8, V4)	0.000000

نتایج حاصل از اجرای مثال عددی برای تامین کنندگان خوشه S' توسط نرم افزار لینگو ۸

پیوست ۲. خروجی نرم افزار GA-VRPLMR



نتایج حاصل از اجرای مثال عددی برای تامین کنندگان خوشه S' توسط نرم افزار GA-VRPLMR



نتایج حاصل از اجرای مثال عددی برای تامین کنندگان خوشه "S" توسط نرم افزار GA-VRPLMR

1	21.81	30.04	30.08	15.78
2	27.69	30.01	30.05	28.90
3	33.59	30.06	30.08	34.81
4	37.17	30.14	30.04	40.76
Delta	15.36	0.13	0.04	24.98
Rank	2	3	4	1
Response Table for Means				
Level	A	B	C	D
1	19.237	67.530	68.100	7.570
2	37.612	47.235	47.252	34.212
3	74.110	78.800	79.960	67.627
4	112.318	49.712	47.965	133.868
Delta	93.080	31.565	30.288	126.298
Rank	2	3	4	1

پیوست ۳. نتایج اجرای آزمایش تاگوچی توسط نرم افزار

Minitab 16

Taguchi Design

Taguchi Orthogonal Array Design

L16(4**4)

Factors: 4

Runs: 16

Columns of L16 (4**5) Array

1 2 3 4

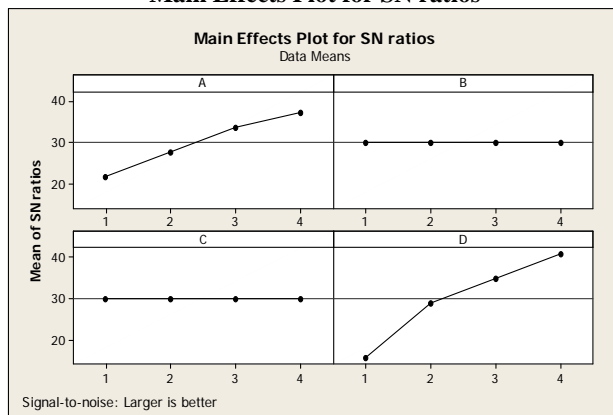
Taguchi Analysis: fitness versus A; B; C; D

Response Table for Signal to Noise Ratios

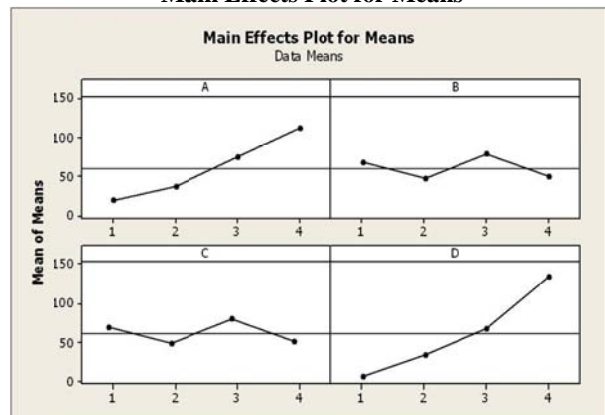
Larger is better

Level A B C D

Main Effects Plot for SN ratios



Main Effects Plot for Means



6. Nemoto, T.
7. Gillhuber Logistic
8. Just In Time
9. GEFCO
10. Toyota Production system (TPS)
11. Consolidation System

پی نوشت

1. Supply Chain Management (SCM)
2. Meethet
3. Timon, Du.
4. Jafari-Eskandari, M. et al.
5. Particle Swarm Optimization

- [۳] مونت گمری، داگلاس سی. طرح و تحلیل آزمایش‌ها، مرکز نشر دانشگاهی، چاپ دوم، (۱۳۸۵)، ص ۶۱۴.
- [۴] مومنی، منصور، خوشه بندی داده‌ها، تهران، (۱۳۹۰).
- [۵] سپهری، محمدمهدی و همکاران. بهبود الگوریتم خوشه بندی مشتریان برای توزیع قطعات یدکی با رویکرد داده کاوی (k -means). نشریه بین المللی مهندسی صنایع و مدیریت تولید، (۱۳۹۰)، شماره ۲، جلد ۲۳، صص. ۲۳۹-۲۴۹.
- [۶] ظفری، علی و همکاران. الگوریتم ترکیبی موثر ژنتیک برای حل مساله مسیریابی وسیله نقلیه، نشریه بین المللی مهندسی صنایع و مدیریت تولید، (۱۳۸۹)، شماره ۲، جلد ۲۱، صص. ۶۳-۷۶.
- [۷] مهدوی اصل، وحید و همکاران. ارائه یک مدل ریاضی و روش ابتکاری جدید برای حل مسئله مسیریابی وسایل نقلیه چند قرارگاهی و چند محصولی با وسایل نقلیه متفاوت، نشریه بین المللی مهندسی صنایع و مدیریت تولید، (۱۳۹۱)، شماره ۳، جلد ۲۳، صص. ۳۰۳-۳۱۵.
- [8] Bezdek JC. Numerical taxonomy with fuzzy sets. *Journal of Mathematical Biology*, (1974), Vol. 1, pp. 57-71.
- [9] Bock H. Probabilistic aspects in cluster analysis. In: O. Optiz, ed. *Conceptual and Numerical Analysis of Data*, Agusburg, FRG, Springer-Verlag, (1989), pp. 12-44.
- [10] Desrochers L. A classification scheme for vehicle routing and scheduling problems, *European Journal of Operational Research*, (1990), Vol. 46, Issue 3, pp. 322-332.
- [11] Diaz BD. The VRR Web Auren. Language and Computation Science Department of the University of Malaga, October (2005).
- [12] Dondo R. A cluster-based optimization approach for the multi-depot heterogeneous fleet vehicle routing problem with time windows, *European Journal of Operational Research*, (2007), Vol. 176, Issue 3, pp. 1478-1507.
- [13] Goldberg DE. *Genetic Algorithm in Search, Optimization and Machine Learning*, Massachusetts, Addison Wesley, (1989).
- [14] Gower JC. A general coefficient of similarity and some of its properties, *Biometrics*, (1971), Vol. 27, pp. 857-874.
- [15] Gun GMaC, Wu J. *Data clustering: Theory, algorithms, and applications*, Asa-Siam, (2007).
- [16] Hashimoto H. The vehicle routing problem with flexible time windows and traveling times, 12. Just In Time (JIT)
13. Toyota Production System
14. SAPCO
15. Combinatorial Optimization
16. Traveling Salesman Problem(TSP)
17. Bin Packing Problem(BPP)
18. Desrochers
19. Vehicle Routing Problem Delivery and Pick up (VRPDP)
20. Simulated Annealing
21. Hsueha, C.
22. Potvin, J.Y.
23. Tolerance
24. Dondo, R.
25. Vehicle Routing Problem with Time Windows
26. Lei, H.
27. Solomon
28. Liao, T.Y.
29. Sweep Method
30. Tabu Search
31. Dynamic Vehicle Routing Problem
32. Variable Neighborhood Search
33. Clustering
34. Vehicle Routing Problem-Logistic Milk Run
35. Vehicle Routing Problem Time Window
36. J.H. Holland
37. Goldberg
38. *Simulated Annealing*
39. Tabu Search
40. *Capacity Vehicle Routing Problem*
41. Swap mutation
42. *Travel Salesman Problem*
43. Population Size
44. Select Parent
45. Crossover
46. Partially Mapped Crossover
47. Order 1 Crossover
48. Mutation
49. Insert Mutation
50. Swap Mutation
51. Inversion Mutation
52. Scramble Mutation
53. Genetic Algorithm-Vehicle Routing Problem Logistic Milk Run
54. Visual Basic
55. Friedman
56. Statistic Vehicle Routing Problem
57. Periodic Vehicle Routing Problem

مراجع

[۱] توکلی مقدم، رضا. حل مسئله مسیریابی وسایل نقلیه با پنجره‌های زمانی نرم با استفاده از یک الگوریتم فرا ابتکاری تلفیقی، نشریه دانشکده فنی، (۱۳۸۵)، ۸۵، مهر. شماره ۴. جلد ۴۰. صص. ۴۶۹-۴۷۸.

[۲] قصیری، کیوان. مساله مسیریابی وسیله نقلیه همراه با پنجره زمانی. قزوین: دانشگاه آزاد اسلامی، (۱۳۸۵).

- [28] Romesburg HC. Cluster analysis for researchers, Lulu Press, (1984). Discrete Applied Mathematics, (2006), Vol. 154, Issue 16, pp. 2271-2290.
- [29] Tan KC. Heuristic methods for vehicle routing problem with time windows. Artificial intelligence in engineering, (2001), Vol. 15, pp. 281-295.
- [30] Timon Du. A real-time vehicle-dispatching system for consolidating milk runs, Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review, (2007), Vol. 43, Issue 5, pp. 565-577.
- [31] Ganeshan R, Harrison T. An Introduction to Supply Chain Management, (1999). WWW.SCM.com/Articles.
- [32] Dantzig GB, Ramser JH. Optimum Routing of Gasoline Delivery Trucks, Proceedings, World Petroleum Congress, Session VIII, Paper 19, (1959), pp. 1-10.
- [17] Holland JH. Adaptation in natural and artificial system, Ann Arbor, Michigan, The University of Michigan Press, (1975).
- [18] Hsueha C. The real-time time-dependent vehicle routing problem. Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review, (2006), Vol. 42, Issue 5, pp. 383-408.
- [19] Jafari-Eskandari M. A robust optimization approach for the milk run problem with time windows under inventory uncertainty- an auto industry supply chain case study, Proceedings of the 2010 International Conference on Industrial Engineering and Operations Management, Dhaka, Bangladesh, January 9-10,(2010).
- [20] Kilic HS. Classification and modeling for in-plant milk-run distribution systems, Int J Adv Manuf Technol DOI 10.1007/s00170-011-3875-4, (2011).
- [21] Khouadjia MR. A comparative study between dynamic adapted PSO and VNS for the vehicle routing problem with dynamic requests, Applied Soft Computing, (2012), Vol. 12, Issue 4, pp 1426-1439.
- [22] Lei H .The capacitated vehicle routing problem with stochastic demands and time windows, Computers & Operations Research, (2011), Vol. 38, Issue 12, pp. 1775-1783.
- [23] Liao TY. An object-oriented evaluation framework for dynamic vehicle routing problems under real-time information, Expert Systems with Applications, (2011), Vol. 38, Issue 10, pp 12548-12558.
- [24] Meethet T. Vehicle routing in milk-run operations: a column generation based approach, Department of Civil Engineering, Chulalongkorn University, Bangkok 10330, Thailand, (2007).
- [25] Nemoto T. Milk-run logistics by Japanese automobile manufacturers in Thailand. Procedia - Social and Behavioral Sciences, (2010), Vol. 2, Issue 3, pp. 5980-5989.
- [26] Pesce LF, et al. The Next Step for a Lean Production: Milk Run, Pires Mercedes-Benz do Brasil SA, Sae Technical, 2000-01-3230, (2000).
- [27] Potvin JY. Vehicle routing and scheduling with dynamic travel times, Computers & Operations Research, (2006), Vol. 33, Issue 4, pp. 1129-1137.