

Developing Refrigerated and General Carriers' Collaboration Model for Perishable Product

Shaghayegh Vaziri 

PhD Candidate in Industrial Engineering
Department of Industrial Engineering, Faculty
of Industrial and Mechanical Engineering,
Qazvin Branch, Islamic Azad University,
Qazvin, Iran

Farhad Etebari *

Assistant Professor, Department of Industrial
Engineering, Faculty of Industrial and
Mechanical Engineering, Qazvin Branch,
Islamic Azad University, Qazvin, Iran

Behnam Vahdani 

Assistant Professor, Department of Industrial
Engineering, Faculty of Industrial and
Mechanical Engineering, Qazvin Branch,
Islamic Azad University, Qazvin, Iran

Abstract

The carrier collaboration problem for logistic optimization is a fundamental part of the sustainable supply chain, and has increasingly been of concern in recent years. This study proposes a novel nonlinear mathematical model to address the carrier collaboration problem. It involves a set of heterogeneous vehicles with specific capacities for serving perishable products to several pickup and delivery nodes. Products are corrupted at a constant rate. The purpose is simultaneously finding routes to maximize profits in order to enhance customer satisfaction which is dependent on the freshness of delivered products. There are various applications of the proposed model in the environment which can help reducing transportation emissions, eliminating empty back hauls. Further, the proposed model uses a Hybrid Genetic Algorithm (HGA) is proposed to solve this problem due to improve the quality of initial solutions Variable Neighborhood Search (VNS) method is developed. The obtained results demonstrate the efficiency of the proposed algorithm in providing reasonable solutions within an acceptable computational time.


Keywords: Carrier Collaboration; Pickup and Delivery Problem; Customer Satisfaction Function; Perishable Product Delivery; Refrigerated-Type Vehicle.

* Corresponding Author: etebari@qiau.ac.ir


How to Cite: Vaziri, Sh., Etebari, F., Vahdani, B. (2022). Developing Refrigerated and General Carriers' Collaboration Model for Perishable Product, *Journal of Industrial Management Studies*, 20(65), 143-183.

توسعه مدل همیاری وسائل نقلیه یخچالی و غیر یخچالی برای کالاهای فساد پذیر


دانشجوی دکتری مهندسی صنایع، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد قزوین،
دانشکده مهندسی صنایع و مکانیک، گروه مهندسی صنایع، قزوین، ایران

شقایق وزیری 

استادیار، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد قزوین، دانشکده مهندسی صنایع و
مکانیک، گروه مهندسی صنایع، قزوین، ایران

فرهاد اعتباری *

استادیار، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد قزوین، دانشکده مهندسی صنایع و
مکانیک، گروه مهندسی صنایع، قزوین، ایران

بهنام وحدانی 

چکیده

مسئله همیاری ناوگان حمل و نقل برای بهینه سازی لجستیک بخشی اساسی از زنجیره تأمین پایدار است و در سال‌های اخیر به طور فزاینده‌ای مورد بررسی قرار می‌گیرد. در این پژوهش نوع جدیدی از مدل غیرخطی ریاضی برای همکاری ناوگان حمل و نقل توسعه داده می‌شود. این مسئله شامل مجموعه از وسائل نقلیه ناهمگن با ظرفیت‌های مشخص برای سرویس دهی کالاهای فساد پذیر را در بر می‌گیرد. کالاهای با نرخ ثابتی فاسد می‌شوند. هدف از این مدل پیدا کردن مسیر شدنی به منظور حداکثر کردن سود در راستای بالا بردن میزان رضایت مشتری است. افزایش رضایت مشتری بر اساس میزان تازگی کالاها تعریف می‌شود. مدل پیشنهادی کاربردهای فراوانی را شامل می‌باشد؛ به کاهش آلودگی ناشی از حمل و نقل به میزان قابل توجهی کمک می‌کند. برای حل مدل، الگوریتم ژنتیک هیبریدی توسعه داده می‌شود که جهت هدفمندتر شدن الگوریتم برای تولید مقادیر اولیه از ساختار همسایگی استفاده می‌گردد. به منظور اعتبارسنجی نتایج به دست آمده نتایج روش شاخه و حد که در نرم افزار گمز تهیه شده، با مثال‌های عددی مقایسه می‌شود. نتایج به دست آمده حاکی از آن است که الگوریتم پیشنهادی کارایی لازم برای به دست آوردن جواب منطقی در بازه زمانی مشخص را دارا می‌باشد.

کلیدواژه‌ها: همکاری افقی لجستیک، مسئله برداشت و تحویل، تابع رضایت مشتری، پخش محصولات غذایی فساد پذیر، وسیله نقلیه یخچال.

مقدمه

لجستیک، نقش مهمی را در زنجیره تأمین مدرن و در محیط تجارت بازی می‌کند. هزینه‌های مربوط به عملیات مختلف حمل‌ونقل بخش عمده‌ای از هزینه‌های کلی سازمان را شامل می‌شود، در نتیجه بهینه‌سازی برنامه‌ریزی حمل‌ونقل به شدت به سوددهی و رقابت‌پذیری کسب‌وکار کمک می‌کند (زاچاردیس^۱ و همکاران، ۲۰۱۵). از این رو در ادبیات توجه بسیاری به فرمول نویسی مدل‌های حمل‌ونقل کارا، به همان نسبت توسعه استراتژی‌های بهینه‌سازی قدرتمند برای حل برنامه‌ریزی حمل‌ونقلی با کیفیت بالا، جلب شده است (لاپرت^۲، ۲۰۰۹). برای اولین بار مسئله مسیریابی وسائل نقلیه (VRP^۳) توسط دنتزیک و رامسر (۱۹۵۹) ارائه شده است. تصمیم کلیدی در این نوع مسائل، تشخیص ترتیب بهینه ملاقات با مشتریان توسط هر وسیله نقلیه، به گونه‌ای که شاخص‌هایی همچون فاصله، زمان، هزینه موجود در عملیات برآورده شود (کتیچیویچوناکول^۴ و همکاران، ۲۰۱۰). گونه‌های مختلفی از VRP برای پرداختن به طیف گسترده‌ای از موقعیت‌های برنامه کاربردی در دنیای واقعی، مورد مطالعه قرار گرفته است. یکی از زیرمجموعه‌های VRP، مسئله مسیریابی وسائل نقلیه با برداشت و تحویل (VRPPDP^۵) است در این نوع مسئله سرویس مورد نیاز مشتریان ممکن است شامل هر دو، برداشت و تحویل محصولات باشد. از دیگر زیرمجموعه‌های مسئله VRP، مسئله مسیریابی وسائل نقلیه با پنجره زمانی (VRPTW^۶) است که در آن مشتریان می‌بایست در بازه زمانی خاص سرویس‌دهی شوند. پژوهش پیش رو ترکیب این دو بخش از VRP، مسئله برداشت و تحویل و پنجره زمانی را شامل می‌شود.

با ظهور تکنوژی‌های جدید در حوزه تجارت الکترونیکی، همیاری در شبکه‌های پخش لجستیک در مقیاس بزرگ آسان‌تر شده است. همیاری بین چندین شریک به

-
1. Zachariadis
 2. Laporte
 3. Vehicle Routing Problem
 4. Kachitvichyanukul
 5. Vehicle Routing Problem with Pickup and Delivery
 6. Vehicle Routing Problem with Time Windows

کاهش هزینه‌های لجستیک، افزایش سود در شرکت‌هایی با صنایع بزرگ و در نهایت به بهبود اقتصاد می‌انجامد (وانگ^۱ و همکاران، ۲۰۱۳). هم‌ناوگان حمل‌ونقل نوع جدیدی از VRPPD است که در آن شرکت‌های باربری، حمل، پیمانکارها و حتی رقیب‌ها قادرند به‌عنوان شریک هم باشند و همکاری آن‌ها منجر به تولید نتیجه برنده-برنده می‌شود (لی و همکاران، ۲۰۱۶). در همیاری چند دپو مسیریابی وسیله نقلیه چندین وسیله نقلیه و یا چندین شرکت حمل‌ونقل به‌منظور بهینه کردن عملیات حمل‌ونقل یا به اشتراک گذاشتن درخواست‌های حمل‌ونقل و ظرفیت وسیله نقلیه تشکیل یک ائتلاف را می‌دهند (دای و چن، ۲۰۱۲). بهینه‌سازی همیاری ناوگان حمل‌ونقل می‌تواند به‌طور مؤثر سرعت بارگذاری را بهبود می‌بخشد و منجر به کاهش پدیده حمل‌ونقل متقاطع می‌شود. از دیگر مزایای بهینه‌سازی این مدل آن است که موجب کاهش ترافیک شهری و تأثیرات محیطی می‌گردد، درعین حال سود و رضایت مشتری افزایش می‌یابد.

با افزایش استانداردهای و سرعت زندگی و همچنین شیوع بیماری همه‌گیر کرونا، نیاز مردم به خرید آنلاین و در نتیجه کالاهای یخچالی افزایش پیدا کرده است. در توزیع کالاهای یخچالی، زنجیره سرد، برای اینکه کیفیت کالاها کاهش نیابد بلافاصله بعد از تولید کالای یخچالی در سردخانه و یخچال‌های کارخانه توزیع‌کننده (انبار) نگهداری می‌شوند و یا توسط وسایل حمل‌ونقلی که قابلیت نگهداری از کالای یخچالی را دارند به سردخانه‌های خرده‌فروشان حمل می‌شوند. از آنجایی که کیفیت کالاهای یخچالی نسبت به زمان، فاصله و نوع وسایل نقلیه با کالاهای غیر یخچالی متفاوت هستند.

در این پژوهش فرض شده است همیاری ناوگان حمل‌ونقل شامل چندین مرکز برداشت (دپو) و چندین مرکز تحویل است که مجموعه از ناوگان حمل‌ونقل ناهمگن (یخچالی و غیر یخچالی) با ظرفیت‌های مشخص که هر وسیله نقلیه درخواست‌های رزرو شده و انتخاب‌شده‌ای دارد و در پنجره زمانی مشخص، خدمت‌رسانی می‌کنند. کالاها با نرخ ثابتی فاسد می‌شوند، نرخ فاسدشدن در وسیله نقلیه غیر یخچالی بیشتر از یخچالی است هزینه به‌کارگیری وسیله نقلیه غیر یخچالی کمتر از یخچالی می‌باشد که هر وسیله نقلیه

یک مجموعه درخواست‌های رزرو شده و همچنین درخواست‌هایی انتخاب شده دارد. درخواست‌های رزرو شده می‌بایست حتماً سرویس‌دهی شود ولی درخواست‌های انتخاب شده می‌تواند سرویس‌دهی شود و یا نشود. هر درخواست برداشت و تحویل به مبدأ، مقصد، اندازه، فسادپذیری، پنجره زمانی، استفاده از وسیله نقلیه یخچالی و غیر یخچالی و همچنین قیمت هر سرویس برای درخواست بر اساس شرکت باربری مربوطه (مشتری هر وسیله نقلیه) مرتبط است. زمانی که وسیله نقلیه شروع به حرکت می‌کند، میزان تازگی محصولات در زمان برداشت از دپو کامل‌ترین حالت ممکن است، به‌مرور زمان تا زمان تحویل میزان تازگی بر اساس نرخ مشخص در کاهش می‌یابد حال آنکه اگر وسیله نقلیه یخچالی استفاده شود این کاهش به مراتب کمتر است. این توسعه رویکرد زمان‌بندی وسائل نقلیه یخچالی و غیر یخچالی را در زمینه زنجیره تأمین محصولات تازه لحاظ نموده است. یکی دیگر از مشکلات مدیریت وسائل نقلیه یخچالی، نیاز آن‌ها به پاسخگویی به درخواست‌ها در پنجره زمانی مشخص است، که هر گونه وقفه در پنجره زمانی منجر به پنالته می‌شود. بنابراین، در این پژوهش به سؤالات زیر پاسخ داده می‌شود:

۱. چگونه با همیاری ناوگان حمل‌ونقل در چه مسیرهایی از وسیله نقلیه یخچالی و یا غیر یخچالی استفاده کنیم که در عین حالی که هزینه‌ها کاهش و سود افزایش یابد.
 ۲. چه زمانی وسائل نقلیه دپوهای تحویل و برداشت را ملاقات کنند که کمترین پنالته زمانی و افزایش میزان رضایت مشتری را داشته باشیم، در عین حال رضایت مشتری بر اساس ارائه محصولات سالم، تازه و با کیفیت بالا به مشتریان بالا باشد.
- طرح کلی مطالب ارائه شده در ادامه پژوهش به شرح زیر است، در بخش پیشینه پژوهش، ما به‌طور خلاصه به بررسی مرور ادبیات مسئله برداشت و تحویل، پنجره زمانی و همیاری ناوگان حمل‌ونقل و کالاهای فسادپذیر می‌پردازیم. سپس به بیان مسئله و مدل ریاضی اختصاص یافته است. در بخش روش حل مسئله، جزئیات الگوریتم ژنتیک هیبریدی پیشنهاد شده است. نتایج مقایسه گمز و الگوریتم‌های متاهوریستیک کلونی

مورچگان و تبرید شبیه‌سازی شده با الگوریتم پیشنهادی جهت بررسی بیشتر حل و تجزیه و تحلیل شده‌اند. در نهایت در بخش آخر، نتایج و تحقیقات آینده آورده شده است.

پیشینه پژوهش

مسئله مسیریابی وسیله نقلیه سنتی در پی یافتن یک مجموعه مسیر برای سرویس‌دهی به مجموعه‌ای از مشتریان است. مرور ادبیات‌های جامعی درباره مسئله مسیریابی و مسائل نقلیه وجود دارد (برکرز^۱ و همکاران، ۲۰۱۶؛ لاپرته، ۲۰۰۹، اکسیگولو^۲ و همکاران، ۲۰۰۹). مسئله همیاری و مسائل نقلیه مورد مطالعه در این پژوهش بسیار مرتبط به مسئله معروف VRPTW و مسئله VRPPD می‌باشد که جزئیات این مسئله در پژوهش کردئو^۳ و همکاران (۲۰۰۷) و گانسترر و هارت^۴ (۲۰۱۸) یافت می‌شود.

هدف مدل‌های کلاسیک مسئله برداشت و تحویل معمولاً حداقل کردن مسافت طی شده وسیله نقلیه و یا حداقل کردن تعداد و مسائل نقلیه بوده است که در آن برداشت و تحویل را به صورت هم‌زمان یا غیرهم‌زمان در نظر گرفتند. اهمیت موضوع در دنیای آکادمیک در حدی است که مرور ادبیات‌های جامعی در این حوزه نوشته شده است (پارارق^۵ و همکاران، ۲۰۰۸؛ بربجلیا^۶ و همکاران، ۲۰۱۰).

قیلاس^۷ و همکاران (۲۰۱۶)، الگوریتم هیوریستیکی جستجوی بزرگ همسایگی وفق‌پذیر را برای مسئله برداشت و تحویل با پنجره زمانی که بخشی از درخواست‌ها با خطوط برنامه‌ریزی شده و مسائل نقلیه عمومی سرویس‌دهی می‌شود، ارائه داد. لسینوسکایا^۸ و همکاران (۲۰۱۶) به زنجیره تأمین دو سطحی را که در آن تولیدکننده اصلی و چندین مشتری وجود دارد، پرداختند. تولیدکننده در بازه زمانی مشخص اقلام برگشت‌پذیر حمل

-
1. Braekers
 2. Eksioglu
 3. Cordeau
 4. Gansterer & Hartl
 5. Parragh
 6. Berbeglia
 7. Ghilas
 8. Iassinovskaia

و نقل را پخش می کند در عین حال ارقام می بایست مجدداً جمع آوری شده و برای استفاده مجدد به تولید کننده بازگردانده شوند.

مسئله مسیریابی وسائل نقلیه با برداشت و تحویل به صورت جداگانه کمتر در ادبیات بدان پرداخته شده است. این شکل از مسئله مسیریابی برای اولین بار توسط درور و ترادو^۱، (۱۹۸۹) به منظور حذف محدودیت ملاقات بیشتر از یک بار با مشتری، ارائه شد. همیاری افقی لجستیک به همیاری چندین بازیکن در یک سطح از عملیات لجستیک اشاره دارد در این راستا همیاری بین تولید کنندگان و همیاری بین وسائل نقلیه را می توان مثال زد (لی و همکاران، ۲۰۱۶). نواک^۲ و همکارانش (۲۰۰۸)، در پژوهش خود به مزیت های تحویل های جدا از هم پرداختند. با توجه به مرور ادبیات همیاری وسائل نقلیه، می توان این نوع همیاری به دودسته کلی تقسیم بندی کرد. روش اول به اشتراک گذاری وسائل نقلیه همانند ظرفیت وسائل نقلیه است و راه دیگر به اشتراک گذاری سفارش ها است که قادر به بهبود بهره وری و سودآوری می باشد (دای و چن، ۲۰۱۱).

وردانک^۳ و همکارانش (۲۰۱۳)، مرور ادبیات جامعی را برای دو نوع رویکرد همیاری وسائل نقلیه ارائه دادند. دای و همکاران (۲۰۱۴)، برای حل مسئله همیاری ناوگان حمل و نقل، متد قیمت گذاری چندمرحله ای مبتنی بر حراج ترکیبی را پیشنهاد دادند بدین صورت که در هر مرحله از حراج فروشنده قیمت هر درخواست را بر اساس آسوده سازی لاگرانژ به روز می کند و ناوگان حمل و نقل که در اینجا پیشنهاددهنده ها هستند مشخص می کنند که بر اساس قیمت کدام درخواست ها برون سپاری و کدام درخواست ها دریافت شود. گنستر^۴ و همکاران (۲۰۱۶)، مسئله سود ده برداشت و تحویل با چندین وسیله نقلیه تعریف کردند که هدف از این مدل به حداکثر رساندن اختلاف کل درآمد از هزینه مسافرت است. آن ها برای حل مدل دو نوع الگوریتم جستجوی متغیر همسایگی کلی ارائه دادند و الگوریتم ها را با الگوریتم جستجوی محلی هدایت شده مقایسه کردند. چن

1. Dror and Trudeau

2. Nowak

3. Verdonck

4. Gansterer

(۲۰۱۶)، به مسئله همیاری ناوگان حمل و نقل در بارگذاری کمتر ظرفیت وسیله نقلیه را که در آن چندین وسیله نقلیه درخواست‌های برداشت و تحویل را با هم ردوبدل می‌کنند به همراه پنجره زمانی بدین منظور که سود حداکثر شود. او روش ترکیبی تبادل ساعت-نماینده را برای همیاری ناوگان حمل و نقل توسعه داد. این تبادل از دو فاز تشکیل شده است. فاز ساعتی اول، تکرار تبادل که بر اساس آسوده سازی لاگرانژ است و در فاز نمایندگی دوم که مزایده وسیله نقلیه نماینده عامل خود را بر اساس اطلاعاتی که از فاز قبل به دست آمده، پیشنهاد می‌دهد.

محصولات غذایی به عنوان کالای فسادپذیر شناخته شده‌اند که تازگی آن‌ها به شدت تحت تأثیر طول زمان و دمای محیط در زمان تحویل است (کای و همکاران، ۲۰۱۳). از این رو بسیاری از کمپانی‌ها از وسایل نقلیه یخچالی استفاده می‌کنند که بتوانند با تنظیم دمای محل نگهداری محصولات، تازگی آن‌ها را حفظ و رضایت مشتری را تأمین کنند. هرچند که وسایل نقلیه یخچالی گران‌تر و مصرف سوخت بیشتری دارند به همین دلیل از لحاظ اقتصادی به صرفه نیست که برای هر تحویل از آن‌ها استفاده شود. از این رو ترجیح داده می‌شود که از دو نوع وسیله نقلیه یخچالی و غیر یخچالی به صورت هم‌زمان استفاده شود.

اولین بار مرور ادبیات جامعی در مورد کالای فسادپذیر توسط ناهمیس^۱ (۱۹۸۲) ارائه شد. سپس مطالعات بسیاری در این زمینه انجام شد و مرور ادبیات‌های گسترده‌تری در حوزه مدیریت کالاهای فسادپذیر ارائه گردید (گویال^۲، ۲۰۰۱؛ کارایسمن^۳ و همکاران، ۲۰۱۱). دو جریان اصلی در مورد محصولات تازه، یعنی، مسئله قیمت‌گذاری در زنجیره تأمین محصول تازه (کای و همکاران، ۲۰۱۳؛ وو و همکاران، ۲۰۱۵) و همچنین مسئله زمان‌بندی ناوگان حمل و نقل وجود دارد (وانگ و همکاران، ۲۰۱۴؛ وانگ و همکاران، ۲۰۱۵؛ ژانگ و چن^۴، ۲۰۱۷). اوسوالد و استرین^۵ در سال ۲۰۰۸، مسئله مسیریابی وسیله نقلیه

1. Nahmias
2. Goyal
3. Karaesmen
4. Zhang and Chen
5. Osvald and Stirn

با زمان مسافرت وابسته به زمان را فرمول‌نویسی کردند. هدف از این مدل حداقل کردن فاصله، زمان مسافرت و هزینه بابت تأخیر در سرویس‌دهی به مشتریان و هزینه‌های مربوط به فسادپذیری است. در این مدل هزینه‌های فسادپذیری با چند برابر کردن هزینه بار حمل شده در هر یال به‌وسیله زمانی که موردنیاز است، به دست می‌آید. چن و همکارانش (۲۰۰۹) مدل ریاضی غیرخطی را با در نظر گرفتن زمان‌بندی تولید و مسیریابی وسیله نقلیه با پنجره زمانی برای محصولات غذایی فسادپذیر ارائه دادند. هدف از این مدل حداکثر کردن سود تأمین‌کننده است. آن‌ها تقاضای مشتریان را تصادفی در نظر گرفتند. کای و همکاران (۲۰۱۰)، مدلی را برای مسئله زنجیره تأمین محصولات تازه در دو سطح توزیع‌کننده و تولیدکننده ارائه دادند. توزیع‌کننده مقدار مشخصی از محصول تازه را از تولیدکننده به بازار مقصد پخش می‌کند و از میزان تازگی کالاها محافظت می‌کند. توزیع‌کننده مقدار سفارش، میزان تلاش برای تازگی و قیمت فروش را مشخص می‌کند. تولیدکننده تنها قیمت فروش عمده را تعیین می‌کند. فراهانی و همکاران (۲۰۱۲) فرآیند پخش و فرآیند تولید را به‌منظور کوتاه کردن بازه زمانی بین تولید و پخش با هم تلفیق کردند. تقاضا برای محصولات تازه مانند میوه‌های تازه، سبزیجات، گوشت، محصولات لبنی و دارویی، اساساً مهم است و هر سال افزایش می‌یابد، که به‌نوبه خود منجر به توسعه زنجیره تأمین محصول تازه گردیده است. رحیمی و بابلی (۲۰۱۴) به مسئله مسیریابی موجودی را برای زنجیره تأمین غذایی با تحقیق در مورد تأثیر سطح رضایت مشتری با بهینه کردن هزینه‌های مورد انتظار کلی پرداختند. گویندان^۱ و همکارانش (۲۰۱۴) برای مسئله دوسطحی مکانیابی-مسیریابی با چند وسیله نقلیه شبکه زنجیره تأمین کالاهای فسادپذیر مدل بهینه‌سازی دو هدفه‌ای را پیشنهاد دادند. هدف از این مدل مشخص کردن تعداد مکان‌های تسهیلات به‌منظور بهینه کردن مقدار محصولاتی که به سطح پایین‌تر و مسیریابی در هر سطح است. در تحقیق فوق، از وسائل نقلیه ناهمگن برای تحویل دادن کالاهای فسادپذیر در نظر گرفته شده است. هرچند که این وسائل نقلیه از نوع یخچالی نیستند. ژانگ و چن (۲۰۱۴) به مسئله زمان‌بندی وسائل نقلیه برای صنعت پخش غذاهای یخچالی پرداختند، در

این پژوهش مشتریان مجموعه‌ای از غذاهای یخچالی را که هم‌زمان بارگذاری می‌شدند، ارائه دادند. وانگ و همکاران (۲۰۱۶)، مسئله مسیریابی و سائل‌نقلیه دوهدفه با پنجره‌زمانی برای مقابله فسادپذیری ارائه دادند که هدف اول این مدل کاهش هزینه‌ها و هدف دوم افزایش میزان تازگی کالای تحویل داده شده است به گونه‌ای که منجر به افزایش میزان رضایت مشتریان می‌شود. برای حل مدل الگوریتم هیوریستیک دوفازی بر اساس جستجوی محلی پارتو الگوریتم ژنتیک با در نظر گرفتن فاصله زمانی-مکانی بکار گرفته شده است. برخی از محققین توزیع کالاهای یخچالی و منجمد را که زنجیره سرد نامیده می‌شود، پرداختند. هو^۱ و همکارانش (۲۰۱۷)، مدل برنامه‌ریزی مختلط عدد صحیح را برای زمان‌بندی و سائل‌نقلیه یخچالی در زمینه زنجیره تأمین کالای تازه ارائه دادند. آن‌ها در مدل خود علاوه بر هزینه‌های مسیریابی، هزینه خسارت وسیله نقلیه، هزینه پناهی زمانی، هزینه و سائل‌نقلیه یخچالی که با تغییر دما را در ساعات مختلف روز میزان زوال کالاها نیز تغییر می‌کند، در مدل خود لحاظ نمودند.

تفاوت اصلی این پژوهش از لحاظ اینکه نوع همیاری وسیله نقلیه هست یا نیست، تابع هدف، محدودیت‌های لحاظ شده و روش حل با دیگر تحقیق‌های برداشت و تحویل در سال‌های اخیر در جدول (۱) آورده شده است. در مقایسه با پژوهش مشابه اخیر از همین نویسندگان وزیری و همکاران (۲۰۱۹)، این تحقیق رضایت مشتریان از کیفیت کالاها و محدودیت و سائل‌نقلیه یخچالی و غیر یخچالی، فسادپذیری کالاها و پنجره زمانی را لحاظ شده است. همچنین، نوع ارائه کروموزم و ساختار همسایگی نیز متفاوت می‌باشد.

جدول ۱. مرور ادبیات پژوهش‌های اخیر مسائل همیاری ناوگان حمل‌ونقل.

نویسنده	همیاری	تابع هدف	محدودیت‌های اصل	روش حل
سانگ و کو ^۲ (۲۰۱۶)	×	رضایت مشتری	چند محصولی، فسادپذیری، و سائل‌نقلیه ناهمگن (یخچالی و غیر یخچالی)	هیوریستیک مبتنی بر اولویت
هو ^۱ و همکارانش	×	هزینه‌های مسیریابی، هزینه	فسادپذیری کالا، پنجره‌زمانی	بمتد هیوریستیک

1. Hu

2. Song and Ko

نویسنده	همیاری	تابع هدف	محدودیت‌های اصل	روش حل
(۲۰۱۷)		خسارت وسیله نقلیه، هزینه پناستی مانی، هزینه و سائل نقلیه یخچالی در ساعات مختلف روز	نرم، ظرفیت وسیله نقلیه، برداشت و تحویل غیر هم‌زمان	وفق پذیر جستجوی همسایگی متغیر + بهینه سازی ذرات
فرناندز و همکاران (۲۰۱۸)	✓	کاهش هزینه حمل و نقل	ظرفیت وسیله نقلیه	الگوریتم شاخه و حد
وزیری و همکاران (۲۰۱۹)	✓	حداکثر کردن سود عادلانه، کاهش زمان تحویل	وسائل نقلیه ناهمگن، چند محصولی، ظرفیت وسیله نقلیه،	الگوریتم ژنتیک، جستجوی همسایگی متغیر
ژانگ و همکاران (۲۰۲۰)	✓	کیفیت، قابلیت اطمینان، هزینه و زمان	ظرفیت وسیله نقلیه، ظرفیت دپو	جستجوی همسایگی متغیر
پادمانابهان ^۲ و همکاران (۲۰۲۰)	✓	کاهش هزینه حمل و نقل	ظرفیت وسیله نقلیه، چند دپو	جستجوی همسایگی متغیر
جیانگ ^۳ و همکارانش (۲۰۲۰)	✓	محدودیت تعداد و سائل نقلیه، کاهش میانگین زمان تحویل، احتمال خطر عفونی	محصولات کشاورزی فسادپذیر،	الگوریتم ژنتیک
تحقیق حاضر	✓	حداکثر کردن سود، رضایت مشتری	فسادپذیری، و سائل نقلیه ناهمگن (یخچالی و غیر یخچالی)، پنجره زمانی، ظرفیت وسیله نقلیه	الگوریتم ژنتیک، جستجوی همسایگی متغیر

بیان مسئله

این پژوهش رویکرد زمان‌بندی و سائل نقلیه یخچالی و غیر یخچالی را در زمینه زنجیره تأمین محصولات تازه لحاظ نموده است. هدف نهایی زنجیره تأمین محصول تازه ارائه محصولات سالم، تازه و با کیفیت بالا به‌موقع به مشتریان است. فرضیات در نظر گرفته شده

1. Hu
2. Padmanabhan
3. Jiang

برای مدل به شرح زیر می‌باشد. در این مسئله ناوگان حمل‌ونقل از نوع ناهمگن می‌باشد و دو نوع یخچالی و غیریخچالی را شامل می‌شود. کلیه مسیرها از انبار ناوگان حمل‌ونقل شروع و بدان ختم می‌شوند و هر وسیله نقلیه تنها قادر است یک مسیر را در هر دوره طی کند. به هر مشتری حداکثر یک بار سرویس داده می‌شود. گراف $G=(N, A)$ تعریف می‌شود که شامل مجموعه‌ای از رئوس $N = \{0, \dots, 2n+1\}$ که n تعداد تقاضاها را نشان می‌دهد زیرا هر تقاضا شامل یک رأس برداشت و یک رأس تحویل است. رأس 0 و $2n+1$ نشان‌دهنده دپو ناوگان حمل‌ونقل حامل وسائل نقلیه ناهمگن $K = \{1, \dots, K\}$ که شامل وسائل نقلیه یخچالی k_r و غیریخچالی k_g با ظرفیت Q^k است. فرض شده است که هریک از وسائل نقلیه مسیر خود را از رأس 0 آغاز و به رأس $2n+1$ ختم می‌کند. هر رأس i دارای پنجره زمانی $[a_i, b_i]$ برای سرویس دهی است. به گونه‌ای که هر یال (i, j) در E هزینه مسافرت c_{ij}^k و زمان مسافرت t_{ij} و زمان سرویس دهی به رأس i ، s_i است. اگر وسیله نقلیه پیش از a_i به مشتری i برسد، منتظر می‌ماند. مجموعه $P = \{1, \dots, n\}$ حاوی رئوس برداشت کلیه درخواست‌ها می‌باشند، درحالی که مجموعه $D = \{n+1, \dots, 2n\}$ کلیه رأس‌های تحویل‌ها را شامل می‌شود. درخواست i ، $i = 1, \dots, n$ مربوط به برداشت رأس i و تحویل به رأس $n+i$ است. مجموعه $M = \{1, \dots, M\}$ محصولات را شامل می‌شود. CS_i^k تابع رضایت مشتری i ام که توسط وسیله نقلیه k ام سرویس دهی می‌شود. $CS_{im, \min}$ حداقل میزان رضایت مشتری برای محصول نوع m را نمایش می‌دهد، λ_i سود حاصل از یک واحد رضایت مشتری i ام است. تقاضا d_{im} و قیمت p_i قیمتی است که برای سرویس دهی به رأس i پرداخته می‌شود و $d_{(n+i)m} = -d_{im}$ می‌باشد. کلیه درخواست‌ها را R در نظر گرفته‌ایم که R_r زیرمجموعه‌ای از درخواست‌های رزرو شده و R_s زیرمجموعه‌ای از درخواست‌های انتخاب شده است. Q_{jm}^k مقداری از محصول m بر روی وسیله نقلیه k که رأس j را ترک می‌کند و $Q_{jm}^k = Q^k + d_{jm}$ برای محدودیت ظرفیت استفاده می‌شود. سود سرویس دهی p_i برای درخواست‌های R_s مقداری بسیار بزرگ M (تضمین

می شود که کلیه درخواست ها پاسخ داده شود). علاوه بر آن از سمبل هایی برای نوشتن هر چه راحت تر مدل استفاده کردیم: $T_{ij} = b_j - a_i$ نقش یک عدد بی نهایت بزرگ مانند M را برای محدودیت پنجره زمانی بازی می کند. متغیرهای تصمیم مدل در ادامه آورده شده است.

مدل ریاضی ارائه شده بدین شرح می باشد:

x_{ij}^k : متغیر باینری برابر با ۱، تنها زمانی که وسیله نقلیه k به صورت مستقیم یال

(i, j) را طی کند، در غیر این صورت ۰.

y_i^k : متغیر باینری برابر با ۱، تنها زمانی که درخواست i توسط وسیله نقلیه k

سرویس دهی شود. در غیر این صورت ۰.

T_i^k : زمانی که وسیله نقلیه k سرویس دهی را به رأس i آغاز می کند.

Q_i^k : بار وسیله نقلیه k زمانی که سرویس دهی را به رأس i آغاز می کند.

$$\max \sum_{k \in K} \sum_{i \in R} p_i \cdot y_i^k - \sum_{k \in K} \sum_{i \in N} \sum_{j \in N} c_{ij}^k \cdot x_{ij}^k + \sum_{k \in K} \sum_{i \in D} \lambda_i \cdot CS_i^k \cdot y_i^k \quad (1)$$

Subject to:

$$x_{ii}^k = 0, \quad \forall i \in N, \forall k \in K \quad (2)$$

$$\sum_{j \in N, j \neq i} x_{ji}^k - \sum_{j \in N, j \neq i} x_{ij}^k = 0, \quad \forall i \in P \cup D, \forall k \in K \quad (3)$$

$$\sum_{k \in K} \sum_{j \in P, j \neq 0} x_{0j}^k \geq 1 \quad (4)$$

$$\sum_{j \in P, j \neq 0} x_{0j}^k \leq 1, \quad \forall k \in K \quad (5)$$

$$\sum_{k \in K} \sum_{j \in D} x_{(2n+1)j}^k = 0 \quad (6)$$

$$\sum_{k \in K} y_i^k = 1, \quad \forall i \in R_r \quad (7)$$

$$\sum_{k \in K} y_i^k \leq 1, \quad \forall i \in R_s \quad (8)$$

$$\sum_{j \in N, j \neq i, 2n+1} x_{ij}^k = y_i^k, \quad \forall i \in P, \forall k \in K \quad (۹)$$

$$\sum_{j \in N, j \neq i, 2n+1} x_{ji}^k \leq y_i^k, \quad \forall i \in P, \forall k \in K \quad (۱۰)$$

$$\sum_{j \in N, 2n+1} x_{j,n+i}^k = y_i^k, \quad \forall i \in P, \forall k \in K \quad (۱۱)$$

$$\sum_{j \in N, 2n+1} x_{n+i,j}^k \leq y_i^k, \quad \forall i \in P, \forall k \in K \quad (۱۲)$$

$$T_i^k + t_{i,n+i} \leq T_{n+i}^k \quad (۱۳)$$

$$T_j^k \geq T_i^k + (t_{ij} + s_i)x_{ij}^k - T_{ij}(1 - x_{ij}^k), \quad \forall i, j \in N, k \in K, \quad (۱۴)$$

$$a_i \leq T_i^k \leq b_i, \quad i \in N, \forall k \in K \quad (۱۵)$$

$$Q_j^k \geq Q_i^k + \sum_{m \in M} d_{jm} - \sum_{m \in M} Q'_{jmk} (1 - x_{ij}^k), \quad \forall i, j \in N, k \in K \quad (۱۶)$$

$$\max \left\{ 0, \sum_m d_{im} \right\} \leq Q_i^k \leq \min \left\{ Q^k, Q^k + \sum_m d_{im} \right\} \quad (۱۷)$$

$$CS_i^k \geq CS_{i,\min} \cdot y_{i-n}^k, \quad \forall i \in D, k \in K \quad (۱۸)$$

$$CS_i^k = \text{Max}_{j \in D} f \left(T_i^k - (T_j^k - t_{0j})x_{0j}^k + s_i \right), \quad i \in D, \forall k \in K \quad (۱۹)$$

$$T_i^k, Q_i^k \geq 0, \quad \forall i \in N, k \in K \quad (۲۰)$$

$$x_{ij}^k \in \{0,1\}, \quad \forall i, j \in N, \forall k \in K \quad (۲۱)$$

$$y_i^k \in \{0,1\}, \quad \forall i, k \quad (۲۲)$$

تابع هدف دو قسمت را شامل می‌شود. قسمت اول (رابطه (۱)) سود کلی حمل‌ونقل را نشان می‌دهد که برابر است با اختلاف بین مجموع پرداختی درخواست‌های سرویس داده‌شده و کل هزینه‌های حمل‌ونقل می‌باشد. قسمت دوم بر پایه سود حاصل از افزایش میزان رضایت مشتریان است. مقدار رضایت مشتریان (دپوهای تحویل) CS_i^k بر اساس رابطه (۲۳) تعریف می‌شود.

$$CS_i^k = \text{Max}_{j \in D} f_m \left(T_i^k - (T_j^k - t_{0j})x_{0j}^k + s_i \right), \quad i \in D, \forall k \in K \quad (۲۳)$$

لازم به ذکر است که تابع رضایت مشتری $f(\tau)$ ، اگر زمان سپری شده از دپو برداشت تا رأس تحویل مشتری برای محصول p کاهش یابد، بهبود خواهد یافت. در واقع، اگر رأس مشتری i و مشتری j در یک مسیر قرار داشته باشد، زمان سپری شده برای رأس مشتری i ام به صورت $Min[T_i^k - T_j^k + t_{0j} + s_i]$ که شامل حداقل مقدار زمان سپری شده بین رأس i و مشتری j به علاوه زمان سپری شده از دپو به مشتری j و همچنین زمان سرویس دهی به مشتری i ام می باشد.

تابع رضایت مشتری بر اساس زمان از تابع خطی (۲۳) پیروی می کند. α حداکثر میزان رضایت مشتری می باشد. متغیرهای β^{ref} و β^{gen} نرخ فاسد شدن محصول بر اساس زمان سپری شده آن ها از دپو به ترتیب توسط وسیله نقلیه یخچالی و یا غیر یخچالی حمل شده را نشان می دهد. در توزیع محصولات امکان دارد β^{ref} مقدار صفر را داشته باشد. به طور معمول $\beta^{ref} \leq \beta^{gen}$ است.

$$f(\tau) = \begin{cases} 0, & \tau < 0 \\ \alpha - \beta^{ref} \cdot \tau, & \tau \geq 0, \forall k \in K_r \\ \alpha - \beta^{gen} \cdot \tau, & \tau \geq 0, \forall k \in K_g \end{cases} \quad (24)$$

بنابراین می توانیم رابطه (۲۳) برای وسائل نقلیه غیر یخچالی و یخچالی به روابط (۲۵) و (۲۶) بسط دهیم.

$$CS_i^k = \sum_{j \in N} x_{i-n,j}^k \left(a - \beta^{ref} \left(T_i^k - (T_j^k - t_{i-n,j}) + s_i \right) \right), \quad \forall i \in D, k \in K_r \quad (25)$$

$$CS_i^k = \sum_{j \in N} x_{i-n,j}^k \left(a - \beta^{gen} \left(T_i^k - (T_j^k - t_{i-n,j}) + s_i \right) \right), \quad \forall i \in D, k \in K_g \quad (26)$$

رابطه (۲) زمانی که وسیله نقلیه از یک رأس خارج می شود بدان باز نمی گردد، تضمین می کند. رابطه (۳) جریان وسیله نقلیه را کنترل می کند و نشان می دهد که وسیله نقلیه ای که به رأسی وارد شود همان وسیله نقلیه از آن خارج می شود. رابطه (۴)، (۵) و (۶) تضمین

می‌کند هر وسیله نقلیه‌ای که دپو را ترک کند، در نهایت به رأس $2n+1$ باز می‌گردد. رابطه (۷) اطمینان می‌دهد که کلیه درخواست‌ها رزرو شده، سرویس‌دهی شود درحالی‌که در محدودیت (۸) درخواست‌های انتخاب‌شده می‌تواند سرویس‌دهی نشود و یا حداکثر یک‌بار سرویس‌دهی شود. محدودیت‌های (۹) تا (۱۲) رابطه بین متغیرهای x_{ij}^k و y_i^k را نشان می‌دهد و اطمینان می‌دهد که اگر درخواستی سرویس‌دهی شود، حتماً می‌بایستی وسیله نقلیه‌ای رأس برداشت را ترک کرده باشد و به رأس تحویل متناظر آن وارد شود و در غیر این صورت نباید به رأس تحویل وارد شود، این محدودیت‌ها رابطه پیش‌نیازی ملاقات با رأس برداشت پیش از سرویس‌دهی به رأس را تضمین می‌کند.

رابطه پنجره زمانی توسط محدودیت (۱۳) تا (۱۵) مشخص می‌شود. محدودیت (۱۶) و (۱۷) تضمین می‌کند محدودیت ظرفیت وسیله‌های نقلیه رعایت شده است. محدودیت (۱۸) حداقل حدود میزان رضایت مشتری را مشخص می‌کند. میزان رضایت مشتری از رابطه (۱۸) محاسبه می‌شود. روابط (۲۰) تا (۲۲)، مثبت بودن، عدد باینری و صحیح بودن متغیرها را نمایش می‌دهد.

لازم به ذکر است که محدودیت‌های (۲۵) و (۲۶) به منظور محاسبه مقدار CS_i^k از طریق متد-M به آسانی قابل خطی توسط رابطه (۲۷) تا (۳۳) می‌باشد،

$$U_{ij}^k \leq \left(a - \beta^{ref} \left(T_i^k - (T_j^k - t_{i-n,j}) + s_i \right) \right) + (1 - x_{i-n,j}^k) M, \quad (27)$$

$$i \in D, \forall k \in K_r, j \in N$$

$$U_{ij}^k \geq \left(a - \beta^{ref} \left(T_i^k - (T_j^k - t_{i-n,j}) + s_i \right) \right) - (1 - x_{i-n,j}^k) M, \quad (28)$$

$$i \in D, \forall k \in K_r, j \in N$$

$$U_{ij}^k \leq x_{i-n,j}^k M \quad i \in D, \forall k \in K_r, j \in N \quad (29)$$

$$U_{ij}^k \leq \left(a - \beta^{gen} \left(T_i^k - (T_j^k - t_{i-n,j}) + s_i \right) \right) + (1 - x_{i-n,j}^k) M, \quad (30)$$

$$\forall i \in D, k \in K_g, j \in N$$

$$U_{ij}^k \geq \left(a - \beta^{gen} \left(T_i^k - (T_j^k - t_{i-n,j}) + s_i \right) \right) - (1 - x_{i-n,j}^k) M \quad (31)$$

$$\forall i \in D, k \in K_g, j \in N$$

$$U_{ij}^k \leq x_{i-n,j}^k M \quad \forall i \in D, k \in K_g, j \in N \quad (32)$$

$$CS_i^k = \sum_{j \in N} U_{ij}^k \quad \forall i \in D, k \in K \quad (33)$$

همچنین برای خطی سازی قسمت دوم تابع هدف نیز از متد M- برای خطی سازی استفاده می شود. در تابع هدف به جای $CS_i^k y_i^k$ متغیر G_i^k را قرار می دهیم. در ادامه خطی سازی رابطه (۳۴) تا (۳۶) را خواهیم داشت.

$$G_i^k \leq CS_i^k + (1 - y_{i-n}^k) M \quad \forall i \in D, k \in K \quad (34)$$

$$G_i^k \geq CS_i^k - (1 - y_{i-n}^k) M \quad \forall i \in D, k \in K \quad (35)$$

$$G_i^k \leq y_{i-n}^k M \quad \forall i \in D, k \in K \quad (36)$$

روش حل مسئله

در این بخش، رویکرد حل به نام الگوریتم ژنتیک، بکار گرفته شده است که مسئله برنامه ریزی عدد صحیح غیرخطی^۱ را حل کند و از آنجایی که در ادبیات هیچ کتابخانه داده مشابهی برای مسئله یافت نمی شود، مثال عددی ارائه شده است تا کاربردی بودن مسئله را در دنیای واقعی مورد بررسی قرار دهد.

الگوریتم ژنتیک

الگوریتم ژنتیک اولین بار توسط جان هالند بر اساس جریان تکاملی طبیعت با توجه به نظریه داروین در دانشگاه میشیگان معرفی شد. سپس، شاگردش گلدبرگ، GA را در سال ۱۹۸۹ توسعه داد. GA از جمله روش های محاسبه تکاملی محسوب می شود که معمولاً برای دستیابی به

1. Integer Non-Linear Programming (INLP)

جواب‌های نزدیک به بهینه برای مسائل ترکیباتی به کار گرفته می‌شود. نشان داده شده است که روش حل مناسبی برای مسائل INLP می‌باشد (هالند، ۱۹۹۲). در این پژوهش از الگوریتم ژنتیک برای یافتن جواب نزدیک به جواب بهینه استفاده شده است. به‌طور خلاصه، قدم‌هایی که الگوریتم ژنتیک را شامل می‌شود بدین شرح است (شکل (۱)):

شروع؛

متغیرهای $(P_c, P_m, nPop, nMove)$ تعریف می‌شوند

○ برای $(i = 1 \text{ to } nPop)$

- تولید کروموزم Sol_i : تولید تصادفی رشته ملاقات با رأس‌ها $tour_k$ بین $[0, 1]$ ، تولید رشته کروموزمی پاسخگویی به درخواست R_i^S بین 0 یا 1، رشته کروموزمی تخصیص به وسیله نقلیه بین $[1, K]$.

○ پایان

○ برای $(i = 1 \text{ to } nPop)$

▪ برای $(j = 1 \text{ to } nMove)$

- به‌صورت تصادفی از بین ساختارهای همسایگی $\{NS_1, NS_2, NS_3, \dots, NS_8\}$ انتخاب شود برای تولید جواب Sol_{ij} .
- اگر $((f(Sol_i) < f(Sol_{ij})))$

○ $Sol_i \leftarrow Sol_{ij}$

- پایان اگر.

▪ پایان

○ پایان

Sol_{best} : بهترین کروموزوم با بهترین مقدار $f(Sol_i)$

تا زمانی که شرط توقف برقرار است

○ برای $(j = 1 \text{ to } P_c)$

- انجام عملیات تقاطع بر روی کروموزم‌های انتخاب‌شده.

○ پایان

○ برای $(j = 1 \text{ to } P_m)$

- انجام عملیات جهش بر روی کروموزم‌های انتخاب‌شده

○ پایان

○ مرتب‌سازی جواب‌ها بر اساس روند کاهنده مقدار جواب $f(Sol)$

○ اگر $(f(Sol_{first}) < f(Sol_{best}))$

▪ $((f(Sol_{first}) < f(Sol_{best})))$

پایان

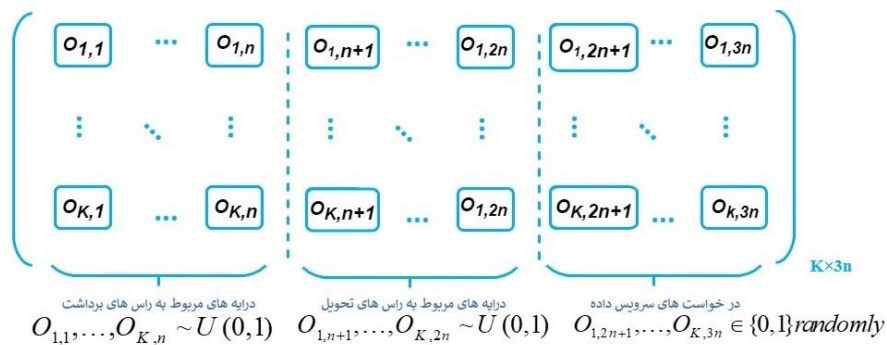
پایان

برگرداندن Sol_{best} .

شکل ۱. سودو کد الگوریتم ژنتیک

کدگذاری و کدگشایی کروموزم

به‌منظور به‌کارگیری GA برای مسئله، ابتدا می‌بایست کدگذاری کروموزم به‌عنوان جواب مسئله مشخص شود. کدگذاری مناسب کروموزم منجر به عملکرد بهتر GA می‌شود. در این پژوهش، کروموزم جدیدی برای حل مسئله ارائه شده است. به‌منظور ارزیابی متغیر تصمیم y_i^k می‌بایست به سه مفهوم اصلی پرداخته شود. اولاً، ترتیب ملاقات رأس‌های برداشت (تأمین‌کننده‌ها) و رأس‌های تحویل (مشری) مشخص شود. ثانیاً، آیا درخواست‌های انتخاب‌شده پاسخ داده می‌شوند. ثالثاً، کدام وسیله نقلیه به کدام مشتری سرویس می‌دهد.



شکل ۲. نمودار کدگذاری کروموزم شامل سه بخش سه بخش به ترتیب از سمت چپ؛ درایه‌های مربوط به رأس برداشت، تحویل و درخواست‌ها می‌باشد

در شکل (۲) نمودار کروموزوم به ابعاد $K \times 3n$ ، نمایش داده شده است که شامل سه بخش است که به ترتیب ملاقات‌های هر وسیله نقلیه K ، با رأس‌های برداشت $(1, n)$ ، تحویل $(n+1, 2n)$ و درخواست رأس‌های تحویل $(2n+1, 3n)$ است. به‌منظور درک بهتر کروموزوم شکل (۲) در قالب مثال عددی در شکل (۴) آورده شده است، نمایانگر ساختار کروموزوم برای ۸ رأس شامل ۴ رأس برداشت $(P_1 - P_4)$ و ۴ رأس تحویل $(D_1 - D_4)$ است که دو رأس D_3 و D_4 درخواست‌هایی از نوع رزرو شده دارند و توسط سه وسیله نقلیه (یک وسیله نقلیه یخچالی k_1 و دو وسیله نقلیه غیر یخچالی k_2 و k_3) سرویس‌دهی می‌شود که از $(V \times (P + D)) + D + R_r$ عنصر تشکیل شده است. بخش (الف) در شکل (۳) که شامل V جدول (وسائل نقلیه) و $P + D$ سطر (رأس برداشت و تحویل) است که هر کدام عددی تصادفی که از توزیع یکنواخت بین ۰ و ۱ حاصل می‌شود. هر کدام از این عناصرها یک شاخص از اعداد صحیح را دارد که نشان‌دهنده ترتیب ملاقات است. بخش اول از کروموزوم لیست ترتیبی نام دارد. بخش دوم که لیست درخواست انتخاب‌شده نام دارد که شامل R_r (درخواست‌های رزرو شده) مقدار که به صورت تصادفی ۰ یا ۱ را می‌گیرد، به‌عنوان مثال مشتری D_4 که رأسی است که درخواست آن از نوع رزرو شده است، می‌بایست پاسخ‌دهی شود (شکل (۴) بخش (ب)). در بخش سوم به تعداد D (رأس‌های تحویل) است که مقدار بین ۱ و تعداد وسائل نقلیه را به صورت تصادفی می‌گیرد که نشان می‌دهد هر کدام از رأس‌های تحویل توسط کدام وسیله نقلیه شامل وسیله نقلیه یخچالی و غیر یخچالی است، سرویس‌دهی می‌شود به‌عنوان مثال مشتری D_4 توسط وسیله نقلیه غیر یخچالی دوم سرویس‌دهی می‌شود (شکل (۳) بخش (ج)).

(ج) لیست وسایل نقلیه		(ب) لیست درخواست رزرو شده			(الف) لیست ترتیبی وسیله نقلیه یخچالی K_1					
تحویل	وسیله نقلیه	تحویل	R'	R''	برداشت	اندیس	معادل اعشاری	تحویل	اندیس	معادل اعشاری
D_1	2	D_1	1	-	P_1	1	0.453	D_1	5	0.732
D_2	1	D_2	1	-	P_2	2	0.288	D_2	6	0.7043
D_3	1	D_3	-	0	P_3	3	0.734	D_3	7	0.621
D_4	2	D_4	-	1	P_4	4	0.56	D_4	8	0.346
					(الف) لیست ترتیبی وسیله نقلیه غیر یخچالی K_2					
					برداشت	اندیس	معادل اعشاری	تحویل	اندیس	معادل اعشاری
					P_1	1	0.561	D_1	5	0.4260
					P_2	2	0.574	D_2	6	0.353
					P_3	3	0.333	D_3	7	0.9542
					P_4	4	0.5357	D_4	8	0.513
					(الف) لیست ترتیبی وسیله نقلیه غیر یخچالی K_3					
					برداشت	اندیس	معادل اعشاری	تحویل	اندیس	معادل اعشاری
					P_1	1	0.413	D_1	5	0.097
					P_2	2	0.125	D_2	6	0.283
					P_3	3	0.537	D_3	7	0.301
					P_4	4	0.6	D_4	8	0.153

شکل ۳. نمایش کدگذاری کروموزم (الف) لیست ترتیبی، (ب) لیست درخواست رزرو شده، (ج) لیست وسائل نقلیه.

فرایند رمزگشایی یک گام مهم دیگر است که در شکل (۴) رمزگشایی وسیله نقلیه اول با مقادیر کدشده در شکل (۳) نشان داده شده است. همان‌طور که پیش از آن ذکر شد، هدف کروموزوم پیشنهادی، یافتن تخصیص مشتریان به هر وسیله نقلیه یخچالی و غیر یخچالی و همچنین تورهای بهینه ملاقات با مشتریان با درخواست‌های انتخاب‌شده و رزرو شده با توجه به محدودیت‌های پیش‌نیازی است. رمزگشایی در سه مرحله انجام می‌شود، همان‌گونه که در شکل (۳) بخش (ج) مشاهده می‌کنید مشتری‌های D_1 و D_4 توسط وسیله نقلیه غیر یخچالی ۲ سرویس‌دهی می‌شوند. برای هر یک از مشتریان یک شاخص عدد صحیح وجود دارد که از پس مرتب شدن اعداد اعشاری معادل آن‌ها ترتیب ملاقات‌ها مشخص می‌شود. برای دستیابی به تور نهایی، در مرحله اول لیست بر اساس مقدار اعشاری از بزرگ به کوچک مرتب‌شده و در محله دوم رأس‌هایی که توسط این وسیله نقلیه سرویس‌دهی نمی‌شوند حذف می‌شوند. لازم به ذکر است که رأس D_4 با توجه نوع درخواست آن از نوع انتخاب شده است و با توجه به اینکه مقدار آن در شکل (۳) قسمت (ب) مقدار ۱ را دارد یعنی می‌بایست سرویس‌دهی شود و گرنه حذف می‌شد.


برای هر رأس تحویل حذف شده معادل آن رأس برداشت نیز حذف می شود به عنوان مثال برای رأس D_2 رأس برداشت معادل آن یعنی P_2 نیز حذف می گردد (مرحله ۲) در شکل (۴). در نهایت، به ترتیب رأس ها وارد لیست نهایی تور سرویس دهی می شود بدین صورت که از ابتدای لیست اگر رأس برداشت باشد وارد می شود ولی اگر رأس تحویل باشد چک می شود تنها در صورتی که رأس برداشت معادل آن وارد شده باشد (محدودیت های پیش نیازی) وارد لیست نهایی می گردد. همان گونه که در شکل (۴) می بینید جواب شدنی به دست آمده برای ترتیب ملاقات با رأس ها توسط وسیله نقلیه غیر یخچالی دوم $P_1 \rightarrow P_4 \rightarrow D_4 \rightarrow D_1$ است.

الف) لیست ترتیبی وسیله نقلیه غیر یخچالی K_2					
معادل اعشاری	اندیس	تحویل	معادل اعشاری	اندیس	برداشت
0.513	8	D_4	0.9542	7	D_3
0.426	5	D_1	0.574	2	P_2
0.353	6	D_2	0.561	1	P_1
0.333	3	P_3	0.5357	4	P_4

مرحله اول:

الف) لیست ترتیبی وسیله نقلیه غیر یخچالی K_2					
معادل اعشاری	اندیس	تحویل	معادل اعشاری	اندیس	برداشت
0.513	8	D_4	0.9542	7	D_3
0.426	5	D_1	0.574	2	P_2
0.353	6	D_2	0.561	1	P_1
0.333	3	P_3	0.5357	4	P_4

مرحله دوم:



P_1	P_4	D_4	D_1
-------	-------	-------	-------

مرحله سوم:

شکل ۴. فرآیند رمزگشایی؛ (۱) لیست مرتب شده (۲) رأس های حذف شده و (۳) تور نهایی برای

وسیله نقلیه K_2

جمعیت اولیه

جمعیت اولیه تأثیر زیادی بر عملکرد الگوریتم های متاهوریستیک دارد. به این بدان معنا است که اگر GA از جمعیت اولیه بهتری آغاز شود، به احتمال زیاد منجر به راه حل های

نهایی بهتر خواهد شد. اگر تمام جمعیت اولیه به صورت تصادفی تولید شوند، الگوریتم زمان محاسباتی زیادی را برای رسیدن به راه حل های قابل قبول می کند. از سوی دیگر، اگر تمام جمعیت اولیه توسط یک قاعده مشخص تولید شود، ممکن است الگوریتم تنوع خود را از دست می دهد. از آنجا که کیفیت راه حل های اولیه می تواند بر عملکرد الگوریتم متاهوریستیک تأثیر بگذارد، به منظور بهبود راه حل های اولیه، روش ساختار همسایگی های را برای نسل اول از جمعیت اعمال کردیم.

چگونگی حرکت از یک جواب به جواب بعدی به گونه ای که خصوصیتی جدید به جمعیت کنونی اعمال شود، اساس جستجوی محلی است. بنابراین ساختارهای مختلف همسایگی همچون جابه جایی^۱، درج کردن^۲ و معکوس کردن^۳ همچنین درج کردن حریصانه^۴ که در ادبیات VRP بسیار رایج است را برای الگوریتم تعریف کرده ایم. معکوس کردن (NS_1): همسایه S' از جواب S در لیست ترتیبی (a)، از انتخاب دو ژن به صورت تصادفی و معکوس کردن ژن های مابین آن ها به دست می آید. درج کردن (NS_2): همسایه S' از جواب S در لیست ترتیبی (a)، با انتخاب یک ژن تصادفی از لیست، حذف آن و سپس درج دوباره آن را به طور تصادفی در موقعیت جایگزین در همان لیست حاصل می شود. جابه جایی (NS_3): همسایه S' از جواب S در لیست ترتیبی (a)، با انتخاب یک ژن تصادفی و تغییر با ژن تصادفی دیگر از همان لیست حاصل می شود.

اگر هر یک از سه روند توضیح داده شده تنها برای یک بخش از سه بخش کروموزوم روی دهد برای لیست ترتیبی ساختار همسایگی (NS_4)، برای لیست درخواست ها ساختار همسایگی (NS_5) و لیست و سائل نقلیه ساختار همسایگی (NS_6) تولید جواب همسایگی جدید S' می کند. درج بهبود یافته^۵ در این ساختار همسایگی، ژنی به صورت تصادفی انتخاب و در تمام موقعیت های مختلف درج می شود. تمامی جواب های همسایگی ممکن بر اساس میزان برازندگی ارزیابی می شوند و بهترین حرکت به عنوان

-
1. Swapping
 2. Insertion
 3. Reversion
 4. Greedy Insertion
 5. Insert Improvement

ساختار همسایگی (NS_7) انتخاب می‌شود. همین روند برای لیست وسایل نقلیه ساختار همسایگی (NS_8) را تولید می‌کند.

حرکت در لیست وسایل نقلیه منجر می‌شود یک مشتری از مسیری به مسیر دیگر منتقل می‌شود که به عنوان تغییر خارج-مسیر^۱ شناخته می‌شود. هرگونه حرکتی در ژن‌های لیست ترتیبی می‌تواند ترتیب ملاقات با مشتریان را تغییر دهد بنابراین می‌تواند به عنوان یک تغییر درون-مسیری^۲ باشد. دومین عملگر الگوریتم ژنتیک برای دستیابی به جواب جدید با انجام عملیات بر روی یک کروموزوم، جهش است. این عملگر باعث می‌شود که میزان تنوع در جمعیت جدید بالا رود و این تنوع اساس تکامل و پیشرفت در رسیدن به جواب نهایی است. عملگر جهش مورد استفاده از نوع تصادفی است. بدین صورت که برای هر کروموزوم یک عدد تصادفی بین صفر و یک با توجه به ابعادهای تولید کرده، آنگاه در صورتی که اعداد تولید شده هر ژن کوچک‌تر از یک مقدار خاصی بود، روی آن ژن جهش صورت می‌گیرد.

تنظیم پارامتر

روش تاگوچی برای تنظیم پارامترهای الگوریتم در این تحقیق استفاده شده است. هدف از طراحی آزمایش‌های تاگوچی، یافتن ترکیبی از سطوح عوامل کنترلی است، به گونه‌ای که برای متغیر پاسخ تابع هدف حداکثر شود و همچنین انحراف معیار برای متغیر پاسخ، حداقل شود. برای رسیدن به هدف فوق، معیار آماری، به نام نسبت سیگنال به نویز (S/N)، برای ارزیابی عملکرد محاسبه می‌شود (فرالی^۳ و همکاران، ۲۰۰۶)، این نسبت می‌بایست تا حد امکان بزرگ‌تر باشد. تاگوچی با استفاده از طرح‌های کاربردی آرایه‌های متعامد برای اختصاص فاکتورهای انتخاب شده، جانب‌داری می‌کند، متداول‌ترین طرح‌های آرایه‌های متعلق به آن است. L_9 ، L_{16} ، L_{18} و L_9 است. که در این تحقیق از آرایه L_9 بهره برده شده است. پارامترهای اصلی در GA شامل تعداد تکرار ($nIteration$)، جمعیت ($nPop$)، عملگر

1. Intra-route
2. Inter-route
3. Fraley

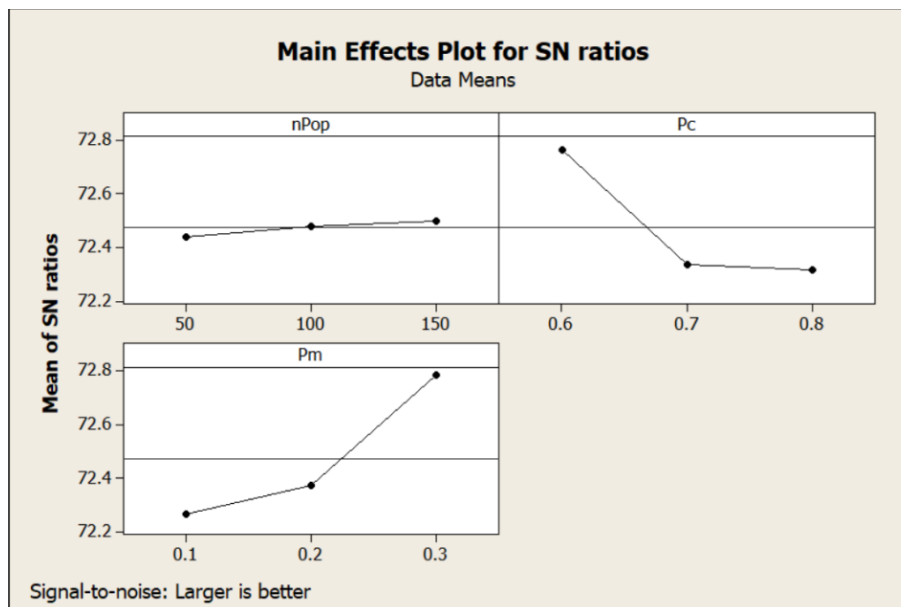
تقاطع (P_c) و عملگر جهش (P_m) می‌باشد. در این تحقیق، برای اجرای عادلانه آزمایشات، تعداد ارزیابی عملکردها در هر آزمایش ثابت است. عدد ارزیابی عملکرد بر اساس $nIteration \times nPop$ در الگوریتم GA محاسبه می‌شود که ۵۰۰۰ اجرا در تمام آزمایشات در نظر گرفته شده است. سطوح پارامتر الگوریتم در جدول (۲) نشان داده شده است. جواب‌های به‌دست آمده از آزمایش تاگوچی در جدول (۳) آورده شده است.

جدول ۳. سطوح پارامتر الگوریتم ژنتیک.

پارامتر	دامنه	سطح ۱	سطح ۲	سطح ۳
$nPop$	50-150	50	100	150
P_c	0.6-0.8	0.6	0.7	0.8
P_m	0.1-0.3	0.1	0.2	0.3

جدول ۴. مقادیر به‌دست آمده از الگوریتم ژنتیک

اجرا	C_1	C_2	$nPop$	Objective Value
1	0.6	0.1	50	4261.75
2	0.7	0.2	50	4072.85
3	0.8	0.3	50	4233.44
4	0.6	0.2	100	4269.89
5	0.7	0.3	100	4324.86
6	0.8	0.1	100	4032.51
7	0.6	0.3	150	4515.60
8	0.7	0.1	150	4024.89
9	0.8	0.2	150	4124.86



شکل ۵. نسبت S / N الگوریتم ژنتیک.

جدول ۴. بهترین مقادیر به دست آمده الگوریتم ژنتیک.

مقدار	پارامتر
400	$nIteration$
150	$nPop$
0.6	P_C
0.3	P_m

نسبت S / N مربوطه، که توسط نرم افزار Minitab 17 محاسبه می شود، در شکل (۵) ارائه شده است. در این شکل، سطح انتخاب شده از هر پارامتر بالاترین نسبت S / N را دارد. در نتیجه بهترین مقادیر پارامترهای الگوریتم در جدول (۴) گزارش شده است.

تابع هدف

به منظور برقرار کردن محدودیت های مدل، استراتژی تابع پناستی به کار گرفته می شود، بدین صورت که بنا به متد ییای و آنکاره^۱ (2005) جواب های نشدنی^۲ متناسب با درجه

1. Yeniay and Ankare
2. Infeasible

تخطی از جواب شدنی جریمه می‌شود. x در کروموزوم می‌بایست محدودیت $g(x) \leq b$ را برآورده سازد و پنالتی آن $P(x)$ از رابطه $P(x) = \omega \times \text{Max} \left\{ \left(\frac{g(x)}{b} - 1 \right), 0 \right\}$ محاسبه می‌شود، ω در این رابطه فاکتور پنالتی است که در این پژوهش 10^5 در نظر گرفته شده است. $g(x)$ محدودیت مورد نظر است، سپس مقدار پنالتی به تابع هدف $f(x)$ به صورت $F(x) = \frac{f(x)}{1 + P(x)}$ اضافه می‌شود. ما تابع هدف با تابع پنالتی میزان تخطی از پنجره زمانی، ظرفیت وسیله نقلیه، حداقل میزان رضایت مشتری تغییر داده‌ایم. رابطه (۳۷) دامنه متغیرهای اضافه شده را تعریف می‌کند.

$$f'(s) = \frac{f(s)}{1 + \alpha w(s) + \delta u(s) + \gamma c(s)} \quad (37)$$

که s همان جواب است، α ، δ و γ مقدار پنالتی را نشان می‌دهد و $w(s)$ ، $u(s)$ و $c(s)$ به ترتیب به تخطی از محدودیت‌های پنجره زمانی و محدودیت ظرفیت و همچنین حداقل میزان رضایت مشتری برمی‌گردد.

نتایج و بحث‌های محاسباتی

الگوریتم پیشنهادی در MATLAB و تست‌های محاسباتی بر روی پردازنده‌های اینتل (R) Core (TM) i5، ۴ گیگابایت RAM اجرا شد. مطالعه مقایسه‌ای بین جواب‌های به دست آمده از GA و GAMS ارائه شده است. نرم‌افزار GAMS راه‌حل بهینه دقیق را فراهم می‌کند حال آنکه GA جواب بهینه محلی را پیدا می‌کند. به منظور اعتبارسنجی مدل پیشنهادی، مثال‌های عددی را برای موقعیت‌های عملیاتی مختلف تولید و با هر دو روش GA و GAMS حل شده است. با مقایسه راه‌حل‌هایی GA و GAMS و نزدیک بودن جواب‌های به دست آمده، می‌توان کارایی را الگوریتم GA ارائه شده را ثابت کرد. از آنجایی که در ادبیات مثالی برای مدل ارائه شده تاکنون وجود ندارد، مثال‌هایی را در

اندازه‌های مختلف برای ارزیابی دقت و اعتبار روشی که برای حل مدل ارائه شده است، تولید کرده‌ایم.

مقایسه‌ها

تعداد رأس‌های مشتریان بین ۵ تا ۱۰ رأس می‌باشد درحالی‌که مکان‌های آن‌ها به صورت یکنواخت در مساحتی $800 \times 800 m^2$ توزیع می‌شوند. رأس‌های تأمین‌کنندگان نیز به صورت یکنواخت در مساحت $200 \times 200 m^2$ توزیع می‌شوند. هزینه‌ها بر اساس فضای اقلیدسی بین هر دو رأس و زمان مسافرت نیز بر اساس هزینه دو گره و با مقدار کمی تلوارنسی تعریف می‌شود ($t_{ij} < c_{ij}$). تقاضای مشتریان عددی تصادفی است که از مجموعه $\{10, 20, 30, 40, 50, 60\} m^3$ انتخاب می‌شود که می‌توانند از مواد غذایی مختلف که با روندخطی ثابتی در وسیله نقلیه یخچالی، β^{ref} عددی تصادفی بین ۰ و ۰,۵ و برای وسیله نقلیه غیر یخچالی بین ۱ و ۱,۵ فاسد می‌شوند، در نظر گرفته شده است که حداقل میزان مشتری برای محصول نوع اول $CS_{1,min}$ ، دوم $CS_{2,min}$ و سوم $CS_{3,min}$. تقاضای هر یک از مشتریان با احتمال ۵۰ درصد می‌تواند از نوع درخواست‌های رزرو شده R_p و یا انتخاب شده R_s باشد. ظرفیت وسیله نقلیه Q^k به متوسط درخواست مشتریان است که عدد تصادفی بی ۰ تا ۵۰ بدان اضافه شده است. برای تولید مقادیر پنجره زمانی، زمان طولانی‌ترین مسیر را به بازه‌های تقسیم کردیم بنابراین که هر یک از مشتریان چقدر با دپو فاصله دارد از بین بازه زمانی بدان تخصیص داده می‌شود. قیمت سرویس دهی p_i ، ۰,۴۵ درصد از تقاضای مشتری i در نظر گرفته شده است. جدول (۵)، مقایسه جواب‌های گلوبال و شدنی به دست آمده از GAMS و جواب‌های بهینه الگوریتم ژنتیک هیبریدی پیشنهادی برای مثال‌های تولید شده را نمایش می‌دهد. در این جدول جواب‌های از لحاظ مقدار تابع هدف و مدت زمان CPU برای ۱۸ مثال تولید شده از ترکیب تعداد رأس‌ها برداشت و تحویل (V)، تعداد وسیله نقلیه یخچالی (k_r) و غیر یخچالی (k_g)، تعداد کالا (M) درخواست رزرو شده (R_r) و یا انتخاب شده (R_s) مقایسه می‌شوند. ستون آخر هم درصد فاصله بین جواب به دست آمده از نرم افزار GAMS و الگوریتم GA است. با مقایسه

آن‌ها می‌توان نتیجه گرفت که GA به مراتب با سرعت بالاتری به جواب دست پیدا می‌کند همچنین بین جواب‌های به دست آمده هر دو اختلاف بسیار ناچیز (۷,۰ <) است. در مثال - های با سایز بزرگ‌تر GAMS قادر نیست در زمان موجه به جواب دست پیدا کند. به عبارت دیگر GAMS قادر به پیدا کردن جواب گلوبال در بازه زمانی ۸ ساعت نمی‌باشد.

جدول ۵. مقایسه جواب‌های به دست آمده از نرم‌افزار گمز و الگوریتم ژنتیک

فاصله	الگوریتم ژنتیک		شاخه و حد (GAMS)		ساختار	اندیس
	زمان محاسبه	تابع هدف	زمان محاسبه (s)	تابع هدف (\$)		
0	23.23	2011.02	83.32	2011.02	6/1/1/3/2/1	1
0	27.87	2567.78	99.34	2567.78	6/2/2/3/1/2	2
0	32.86	3045.23	110.02	3045.23	6/2/2/3/0/3	3
0	42.06	4043.831	108.94	4043.831	8/1/2/2/1/3	4
0	44.71	4523.76	115.38	4523.76	8/2/2/2/2/2	5
0	47.17	4809.82	123.94	4809.82	8/2/2/3/0/4	6
0	46.29	33047.34	207.20	33047.34	10/1/2/2/3/2	7
0	49.72	4266.23	421.29	4266.23	10/2/2/2/4/1	8
0	55.02	5045.95	605.77	5045.95	10/2/2/3/0/4	9
1%	54.3	6566.42	8023.3	6576.955	12/1/2/3/3/3	10
1%	83.86	5829.614	27142.4	5929.6197	12/1/2/2/2/4	11
5%	85.47	5988.78	3194.54	6021.03	12/2/2/3/2/3/3	12
3%	87.34	5903.23	3302.28	5925.02	12/2/2/3/1/5	13
6%	82.98	5087.57	8906.33	5122.89	14/1/2/3/2/5	14
5%	85.92	4489.31	9763.41	4515.597	14/2/2/4/3/4/3	15
5%	90.06	4297.97	9937.24	4321.6	14/2/2/2/1/6	16
4%	93.28	8064.24	< ۸ ساعت	8102.31**	18/2/2/3/4/5	17
6%	95.87	7840.03	< ۸ ساعت	7890.636**	18/2/2/2/2/7	18

* فاصله = اختلاف بین تابع هدف / تابع هدف GAMS $\times 100$ ** جواب شدنی

به منظور نشان دادن تفاوت میان نتایج به دست آمده توسط الگوریتم ژنتیک هیبریدی ارائه شده در این پژوهش و کلونی مورچگان (بل و مک مولان، ۲۰۰۴) و الگوریتم تبرید شبیه‌سازی شده (وانگ و همکاران، ۲۰۰۳) از لحاظ دو فاکتور بهترین مقدار تابع هدف و زمان رسیدن به بهترین مقدار با هم مقایسه می‌شوند (جدول ۶). برای مقایسه از آنجایی که اندازه یازده مثال باهم متفاوت است ابتدا آن‌ها را نرمال شدند.

به منظور نشان دادن تفاوت میان نتایج به دست آمده توسط الگوریتم ژنتیک هیبریدی ارائه شده در این پژوهش و کلونی مورچگان (بل و مک مولان، ۲۰۰۴) و الگوریتم تبرید شبیه سازی شده (وانگ و همکاران، ۲۰۰۳) از لحاظ دو فاکتور بهترین مقدار تابع هدف و زمان رسیدن به بهترین مقدار با هم مقایسه می شوند (جدول ۶)). برای مقایسه از آنجایی که اندازه یازده مثال باهم متفاوت است ابتدا آن ها را نرمال شدند.

جدول ۶. مقایسه جواب های به دست آمده از الگوریتم ژنتیک هیبریدی، کلونی مورچگان و تبرید

شبیه سازی

تبرید شبیه سازی شده		کلونی مورچگان		الگوریتم ژنتیک هیبریدی		ساختار
زمان	بهترین	زمان	بهترین	زمان	بهترین	$V / k_r / k_g$
(محاسبه s)	جواب	(محاسبه s)	جواب	(s)	جواب (\$)	$/M / R_r / R_s$
154.4	9411.9	139.3	9607.7	102.2	10440.3	20/2/2/3/2/4
163.2	8479.65	120.7	8322.55	105.9	9682.04	20/2/2/4/1/4
157.3	8724.78	138.1	9889.93	110.1	11307.23	22/2/3/5/3/5
162.8	9871.5	172.6	11831.23	168.9	12760.44	22/2/3/6/3/3
280.3	11878.66	344.1	14597.66	220.8	15896.19	24/3/2/6/3/3
523.2	14973.87	410.5	15723.65	390.7	17892.56	24/3/3/6/3/5
801.8	15893.44	789.2	18967.12	550.8	19823.88	26/3/4/7/5/5
874.5	17874.33	802.3	19076.98	610.8	20768.32	26/3/4/8/6/3
1459.3	18897.47	1359.8	21768.88	1021.3	24452.82	28/4/4/9/9/3
2018.8	25147.98	1690.2	26890.56	13462.8	27912.62	28/4/5/10/9/4
2415.3	27369.2	1888.2	30890.35	15661.3	32025.85	30/5/6/11/6/4

برای آزمودن از فرض اولیه برای آزمون آنالیز واریانس یک طرفه (ANOVA) استفاده شده است و نتایج حاصل در جدول (۷) نشان داده شده است. میزان p-value به دست آمده برابر با ۰ و کمتر از ۰,۰۵، که نشان دهنده تفاوت در سطح معناداری در بین الگوریتم ها است، با توجه به مقدار p-value برابر با صفر در جدول (۷) مشخص شده است، میان الگوریتم ها باهم تفاوت معناداری از نظر مقدار تابع هدف وجود دارد. حال می بایست الگوریتم ها در مقایسه باهم ارزیابی شوند و از نظر اثربخشی رتبه بندی شوند، که برای این منظور از آزمون توکی^۱ استفاده شده است. آزمون توکی با گروه بندی الگوریتم ها

1. Bell & McMullen

2. Tukey Test

به صورت دودویی، الگوریتم‌ها را مقایسه می‌کند.

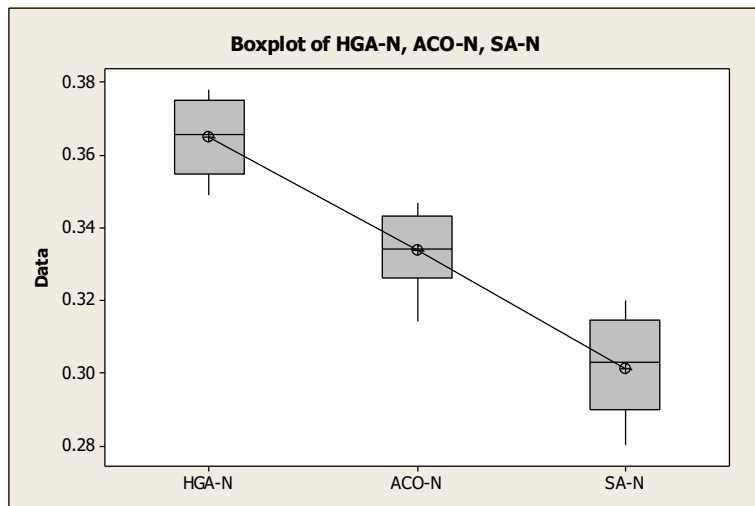
جدول ۷. نتایج ANOVA

منبع	درجه آزادی DF	مجموع مربعات SS	میانگین مربعات MS	F	P-value
فاکتور	2	0.022201	0.011101	85.08	0.000
خطا	30	0.003914	0.000130		
مجموع	32	0.026115			

نتایج به دست آمده از آزمون توکی در جدول (۸)، نشان می‌دهد هر یک از الگوریتم‌ها از لحاظ مقایسه مقدار تابع هدف در گروه‌های جدا از هم قرار گرفتند. این بدان معناست که هر سه الگوریتم باهم تفاوت معناداری دارند و با توجه به میانگین تابع هدف الگوریتم ژنتیک هیبریدی پیشنهادی نتایج بهتری کسب کرده است. مقدار میانگین سه الگوریتم به صورت شماتیک در شکل (۶) آورده شده است.

جدول ۸. اطلاعات مربوط به گروه‌بندی و رتبه‌بندی در یازده مثال ارائه شده.

رتبه	گروه	میانگین	تعداد	الگوریتم
1	A	0.36484	11	الگوریتم ژنتیک هیبریدی
2	B	0.33386	11	کلونی مورچگان
3	C	0.30131	11	تیرید شبیه‌سازی شده



شکل ۶. نمودار میانگین الگوریتم ژنتیک هیبریدی (HGA)، کلونی مورچگان (ACO) و تبرید شبیه‌سازی شده (SA) برای بهترین مقدار تابع هدف.

از آنجایی که این توابع از لحاظ زمان رسیدن به بهترین جواب، تفاوت معناداری نداشت، نتایج آورده نشده است.

مثال عددی

شکل (۷)، مثال ردیف ۱۵ جدول (۵) را به تصویر کشیده است و جدول (۹) جزئیات مثال آورده شده است. مثال ارائه شده ۷ تأمین‌کننده و ۷ مشتری و دپو و وسائل نقلیه را نمایش می‌دهد که شامل نوع درخواست که می‌تواند از نوع رزرو شده R_r و انتخاب شده R_s باشد و موقعیت جغرافیایی بر روی محور مختصات (x,y) ، زمان سرویس‌دهی S و تقاضای هر یک از مشتریان از ۴ کالای ارائه شده $(m_1 - m_4)$ و سود حاصل از سرویس‌دهی P به هر یک از مشتریان است. در این مثال چهار وسیله نقلیه موجود است که شامل دو وسیله نقلیه یخچالی $(K_1 - K_2)$ و غیر یخچالی $(K_3 - K_4)$ که هر کدام ظرفیت مخصوص به خود و نرخ فاسدشدن کالا در وسیله نقلیه یخچالی (β^{ref}) و غیر یخچالی (β^{gen}) را دارا می‌باشند.

جدول ۹. داده‌های مربوط به دپو و تأمین‌کننده و مشتری و وسیله نقلیه و کالاها.

P	تقاضا (m^3)				مشتری			تأمین‌کننده			درخواست
	n_4	m_3	m_2	m_1	S	y	x	S	y	x	
350	1	1	3	3	2	5	101	1	438	525	R_r
200	0	1	1	0	5	708	630	1	429	364	R_r
500	3	2	2	3	2	473	153	3	452	544	R_s
550	1	3	2	5	4	501	345	5	543	447	R_r
650	1	5	5	2	2	769	128	3	367	411	R_s
350	3	0	2	2	3	290	206	5	385	476	R_r
650	3	4	3	3	2	555	77	5	514	422	R_s
$(\beta^{ref}, \beta^{gen})$	K_4	K_3			K_2	K_1					(x,y)
(0.2,0.45)	25	19			30	25			ظرفیت		(459,451)



(K_2): الف) مسیر (۱) وسیله نقلیه یخچالی، $Depot \rightarrow P_3 \rightarrow P_4 \rightarrow P_7 \rightarrow D_4 \rightarrow P_5 \rightarrow P_2 \rightarrow D_3 \rightarrow D_7 \rightarrow D_5 \rightarrow D_2 \rightarrow Depot$



(ب) مسیر (۲) وسیله نقلیه غیر یخچالی، $(K_3): Depot \rightarrow P_1 \rightarrow P_6 \rightarrow D_6 \rightarrow D_1 \rightarrow Depot$

شکل ۷. نمایش جغرافیایی جواب به دست آمده برای دو وسیله نقلیه (الف) یخچالی K_2 و (ب)

غیر یخچالی K_3

بیش مدیریت

مدیریت زنجیره سرد سیستمی است که با نظارت و برنامه ریزی مؤثر به اداره کردن مراحل مختلف چرخه عمر محصولات فاسدشدنی می پردازد و با استفاده از فرآیندها و فعالیت های مناسب به کاهش هزینه های تولید، کاهش ضایعات، افزایش کیفیت، کاهش مسمومیت، افزایش رضایتمندی مشتریان و افزایش درآمد تولیدکنندگان و دیگر مشاغل فعال در بازار محصولات فاسدشدنی منجر می شود. این پژوهش، چندین بینش مدیریتی عملی را ارائه می دهد که به کمک تصمیم گیری مدیران برای کاهش هزینه های عملیاتی، از بین بردن بار خالی وسیله نقلیه و بالا رفتن میزان رضایت مشتری می انجامد. مدل توسعه داده شده به مدیران مسئول این امکان را می دهد که ظرفیت وسائل نقلیه و همچنین به کارگیری وسیله نقلیه یخچالی و غیر یخچالی، قبول و رد سرویس دهی با توجه به سود آن تخمین

بزنند. علاوه بر این، این مدل در مورد اندازه و تخصیص ناوگان حمل و نقل، تخصیص ظرفیت و مسیرهای و سائل نقلیه ابزاری مؤثر برای پشتیبانی از تصمیم‌گیری بهینه مدیریتی ارائه می‌دهد، مدیران قادر به شناسایی بهینه‌ترین، کم‌هزینه‌ترین و پرسودترین گزینه‌ها برای انتخاب هستند. با توجه به اینکه که خرید آنلاین روزبه‌روز گسترش پیدا می‌کند، استفاده از مدل و الگوریتم حل آن می‌تواند در ساخت اپلیکیشن مورد استفاده قرار گیرد. نکته‌ای که کمتر در مسائل آکادمیک بدان پرداخته می‌شود ولی از اهمیت بالایی برخوردار است و می‌تواند چشم‌انداز روشنی را برای کسب و کار به ارمغان آورد، میزان رضایت مشتری است، که در این مدل لحاظ شده است. همچنین با شیوع ویروس کرونا و حمل و اکسن با استفاده از وسیله نقلیه یخچالی این پژوهش می‌تواند مورد توجه بسیاری از مدیران بخش درمانی قرار بگیرد.

نتیجه‌گیری و پیشنهادهای آتی



کالاهای فسادپذیر که بخش اعظمی از فرآیند حمل و نقل را شامل می‌شوند، از اهمیت بالایی برخوردار هستند بنابراین در نظر گرفتن این مهم برای مسئله همیاری ناوگان حمل و نقل می‌تواند مفید باشد. هدف از این پژوهش سرویس‌دهی به مشتریان به کمک همیاری ناوگان حمل و نقل یخچالی و غیر یخچالی با ظرفیت محدود برای چندین کالای فسادپذیر است. همچنین، برای نزدیک‌تر شدن مدل با آنچه در دنیای واقعی اتفاق می‌افتد پاسخ‌دهی به مشتریان و یا عدم پاسخ‌دهی به آن‌ها برای بالا بردن سود و رضایت مشتری در نظر گرفته شده است. برای این منظور، مدل ریاضی غیرخطی ارائه و سپس خطی سازی شده است. سپس، بر روی نرخ فسادپذیری در وسیله نقلیه غیر یخچالی و میزان رضایت مشتری تحلیل حساسیت انجام شده است. این مدل می‌تواند کاربردهای مختلفی در زندگی واقعی همانند شرکت‌های دارویی، خدمات کشاورزی، درمانی، خرید آنلاین مواد غذایی و سوپرمارکتی داشته باشد.

برای حل آن در مقیاس بزرگ، الگوریتم ژنتیک هیبریدی توسعه داده شده است که در آن برای هدفمند شدن مقدار اولیه از ساختار همسایگی مختلف بکار گرفته می‌شود.

به منظور اعتبارسنجی الگوریتم پیشنهادشده، مثال‌های عددی فراهم آمده است و جواب‌هایی که با روش شاخه و حد توسط GAMS و همچنین با دو الگوریتم متاهیوریستیکی دیگر از لحاظ مقدار تابع هدف و زمان محاسبه جواب مورد مقایسه قرار گرفته است. نتایج به دست آمده حاکی از آن است که روش پیشنهادی نسبت به روش‌های دستی بسیار کارا و کاربردی‌تر می‌باشد.

در چرخه عمر محصولات فاسدشدنی پس از طی مراحل مختلف تولید تا توزیع و رسیدن به دست مصرف‌کننده نهایی، عوامل مختلفی سبب ایجاد ضایعات کمی و کیفی در این نوع محصولات می‌شوند. برای پژوهش‌های آتی، عوامل مختلفی همانند میزان رطوبت و دما و ساعات مختلف روز در تابع زوال کالا لحاظ شود. همچنین، عوامل عدم قطعیت (فازی و تصادفی که قابلیت وفق‌پذیری بالاتری دارند) را در نظر گرفت. همچنین از آنجایی که برخی از واکنش‌ها باید در دمای مشخصی توزیع شوند، می‌توان مدل این پژوهش را برای مورد مشخص توزیع واکنش هم توسعه داد.

ORCID

Shaghayegh Vaziri  <http://orcid.org/0000-0001-5895-3742>
Farhad Etebari  <http://orcid.org/0000-0002-7204-282X>
Behnam Vahdani  <http://orcid.org/0000-0001-9850-2698>

References

- Barkaoui, M., Berger, J., & Boukhtouta, A. (2015). Customer satisfaction in dynamic vehicle routing problem with time windows. *Applied Soft Computing*, 35, 423-432.
- Bell, J. E., & McMullen, P. R. (2004). Ant colony optimization techniques for the vehicle routing problem. *Advanced engineering informatics*, 18(1), 41-48.
- Berbeglia, G., Cordeau, J. F., & Laporte, G. (2010). Dynamic pickup and delivery problems. *European journal of operational research*, 202(1), 8-15. <https://doi.org/10.1016/j.ejor.2009.04.024>
- Braekers, K., Ramaekers, K., & Van Nieuwenhuysse, I. (2016). The vehicle routing problem: State of the art classification and review. *Computers & Industrial Engineering*, 99, 300-313.
- Cai, X., Chen, J., Xiao, Y., Xu, X., & Yu, G. (2013). Fresh-product supply chain management with logistics outsourcing. *Omega*, 41(4), 752-765.
- Cordeau, J. F., G. Laporte, M. W. P. Savelsbergh, & D. Vigo. (2007). Chapter 6 Vehicle Routing. *Handbooks in Operations Research & Management Science* 14: 367-428. [https://doi.org/10.1016/S0927-0507\(06\)14006-2](https://doi.org/10.1016/S0927-0507(06)14006-2)
- Dai, B., & Chen, H. (2012). Profit allocation mechanisms for carrier collaboration in pickup and delivery service. *Computers & Industrial Engineering*, 62(2), 633-643
- Dai, B., Chen, H., & Yang, G. (2014). Price-setting based combinatorial auction approach for carrier collaboration with pickup and delivery requests. *Operational Research*, 14(3), 361-386. <https://doi.org/10.1007/s12351-014-0141-1>
- Dror, M., & Trudeau, P. (1989). Savings by split delivery routing. *Transportation Science*, 23(2), 141-145.
- Eksioglu, B., Vural, A. V., & Reisman, A. (2009). The vehicle routing problem: A taxonomic review. *Computers & Industrial Engineering*, 57(4), 1472-1483. <https://doi.org/10.1016/j.cie.2009.05.009>
- Farahani, P., Grunow, M., & Günther, H. O. (2012). Integrated production and distribution planning for perishable food products. *Flexible services and manufacturing journal*, 24(1), 28-51.
- Fernández, E., Roca-Riu, M., & Speranza, M. G. (2018). The shared customer collaboration vehicle routing problem. *European Journal of Operational Research*, 265(3), 1078-1093.
- Fraley, S., Oom, M., Terrien, B., & Date, J. (2006). *Design of experiments via Taguchi methods: orthogonal arrays*. The Michigan chemical process dynamic and controls open text book, USA, vol 2. No. 3. p 4.
- Jiang, Y., Bian, B., & Liu, Y. (2020). Integrated multi-item packaging and vehicle routing with split delivery problem for fresh agri-product

- emergency supply at large-scale epidemic disease context. *Journal of Traffic and Transportation Engineering* (English Edition).
- Gansterer, M., & Hartl, R. F. (2018). Collaborative vehicle routing: a survey. *European Journal of Operational Research*, 268(1), 1-12.
- Gansterer, M., Küçüktepe, M., & Hartl, R. F. (2017). The multi-vehicle profitable pickup and delivery problem. *OR Spectrum*, 39(1), 303-319. <https://doi.org/10.1007/s00291-016-0454-y>
- Ghilas, V., Demir, E., & Van Woensel, T. (2016). A scenario-based planning for the pickup and delivery problem with time windows, scheduled lines and stochastic demands. *Transportation Research Part B: Methodological*, 91, 34-51. <https://doi.org/10.1016/j.trb.2016.04.015>
- Govindan, K., Jafarian, A., Khodaverdi, R., & Devika, K. (2014). Two-echelon multiple-vehicle location-routing problem with time windows for optimization of sustainable supply chain network of perishable food. *International Journal of Production Economics*, 152, 9-28.
- Goyal, S. K., & Giri, B. C. (2001). Recent trends in modeling of deteriorating inventory. *European Journal of operational research*, 134(1), 1-16.
- Holland, J. H. (1992). Genetic algorithms. *Scientific american*, 267(1), 66-73 <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2017.01.001>
- Hu, H., Zhang, Y., & Zhen, L. (2017). A two-stage decomposition method on fresh product distribution problem. *International Journal of Production Research*, 1-24.
- Iassinovskaia, G., Limbourg, S., & Riane, F. (2017). The inventory-routing problem of returnable transport items with time windows and simultaneous pickup and delivery in closed-loop supply chains. *International Journal of Production Economics*, 183, 570-582.
- Kachitvichyanukul, V., Sombuntham, P., & Kunnapapdeelert, S. (2015). Two solution representations for solving multi-depot vehicle routing problem with multiple pickup and delivery requests via PSO. *Computers & Industrial Engineering*, 89, 125-136. <https://doi.org/10.1016/j.cie.2015.04.011>
- Karaesmen, I. Z., Scheller-Wolf, A., & Deniz, B. (2011). *Managing perishable and aging inventories: review and future research directions*. In *Planning production and inventories in the extended enterprise* (pp. 393-436). Springer US
- Laporte, G. (2009). Fifty years of vehicle routing. *Transportation science*, 43(4), 408-416.
- Li, Y., Chen, H., & Prins, C. (2016). Adaptive large neighborhood search for the pickup and delivery problem with time windows, profits, and reserved requests. *European Journal of Operational Research*, 252(1), 27-38 <https://doi.org/10.1016/j.ejor.2015.12.032>

- Nahmias, S. (1982). Perishable inventory theory: A review. *Operations research*, 30(4), 680-708.
- Nowak, M., Ergun, Ö., & White III, C. C. (2008). Pickup and delivery with split loads. *Transportation Science*, 42(1), 32-43.
- Osvald, A., & Stirn, L. Z. (2008). A vehicle routing algorithm for the distribution of fresh vegetables and similar perishable food. *Journal of food engineering*, 85(2), 285-295.
- Padmanabhan, B., Huynh, N., Ferrell, W., & Badyal, V. (2020). *Potential benefits of carrier collaboration in vehicle routing problem with pickup and delivery*. *Transportation Letters*, 1-16
- Parragh, S. N., Doerner, K. F., & Hartl, R. F. (2008). A survey on pickup and delivery models part ii: Transportation between pickup and delivery locations. *Journal für Betriebswirtschaft*, 58(2), 81-117.
- Rahimi, M., Baboli, A., & Rekik, Y. (2014, December). *A bi-objective inventory routing problem by considering customer satisfaction level in context of perishable product*. In *Computational Intelligence in Production and Logistics Systems (CIPLS), 2014 IEEE Symposium on* (pp. 91-97). IEEE.
- Song, B. D., & Ko, Y. D. (2016). A vehicle routing problem of both refrigerated-and general-type vehicles for perishable food products delivery. *Journal of Food Engineering*, 169, 61-71.
- Vaziri, S., Etebari, F., & Vahdani, B. (2019). Development and optimization of a horizontal carrier collaboration vehicle routing model with multi-commodity request allocation. *Journal of Cleaner Production*, 224, 492-505.
- Verdonck, L., Caris, A. N., Ramaekers, K., & Janssens, G. K. (2013). Collaborative logistics from the perspective of road transportation companies. *Transport Reviews*, 33(6), 700-719.
- Wang, C., Zhao, F., Mu, D., & Sutherland, J. W. (2013, September). *Simulated annealing for a vehicle routing problem with simultaneous pickup-delivery and time windows*. In *IFIP international conference on advances in production management systems* (pp. 170-177). Springer, Berlin, Heidelberg.
- Wang, H. F., & Chen, Y. Y. (2013). A coevolutionary algorithm for the flexible delivery and pickup problem with time windows. *International Journal of Production Economics*, 141(1), 4-13.
- Wang, X., Wang, M., Ruan, J., & Zhan, H. (2016). The Multi-objective Optimization for Perishable Food Distribution Route Considering Temporal-spatial Distance. *Procedia Computer Science*, 96, 1211-1220.

- Wang, Y., Ma, X. L., Lao, Y. T., Yu, H. Y., & Liu, Y. (2014). A two-stage heuristic method for vehicle routing problem with split deliveries and pickups. *Journal of Zhejiang University SCIENCE C*, 15(3), 200-210.
- Wang, Y., Ma, X., Xu, M., Liu, Y., & Wang, Y. (2015). Two-echelon logistics distribution region partitioning problem based on a hybrid particle swarm optimization–genetic algorithm. *Expert Systems with Applications*, 42(12), 5019-5031.
- Wu, Q., Mu, Y., & Feng, Y. (2015). Coordinating contracts for fresh product outsourcing logistics channels with power structures. *International Journal of Production Economics*, 160, 94-105.
- Zachariadis, E. E., Tarantilis, C. D., & Kiranoudis, C. T. (2015). The load-dependent vehicle routing problem and its pick-up and delivery extension. *Transportation Research Part B: Methodological*, 71, 158-181. <https://doi.org/10.1016/j.trb.2014.11.004>
- Zhang, Y., & Chen, X. D. (2014). An Optimization Model for the Vehicle Routing Problem in Multi-product Frozen Food Delivery. *Journal of applied research and technology*, 12(2), 239-250.
- Zhang, W., Chen, Z., Zhang, S., Wang, W., Yang, S., & Cai, Y. (2020). *Production*, 274, 122593.

Appendix 1. Author's Profile Guide

A Sample Profile of Faculty Members:

Academic Rank (Instructor, Assistant Professor, Associate Professor, Full Professor), Department, Faculty, University, City, Country.

Example: Assistant Professor, Educational Psychology Dept., Faculty of Psychology and Educational Sciences, Allameh Tabataba'i University, Tehran, Iran.

A Sample of Student Profile:

The Student of (Bachelor, Master, Ph.D.), Field of Study, University, City, Country.

Example: M.Sc. Student in Educational Psychology, Allameh Tabataba'i University, Tehran, Iran.

A Sample of Profile for Individuals and Freelance Researchers:

Degree (Bachelor, Master, Ph.D.), Field of Study, University, City, Country / Organization or Workplace, City, Country.

Example: Master of Educational Psychology, Allameh Tabataba'i University / Education Department, Tehran, Iran.

استناد به این مقاله: وزیری، شقایق، اعتباری، فرهاد، وحدانی، بهنام. (۱۴۰۱). توسعه مدل همیاری و سائل نقلیه یخچالی و غیر یخچالی برای کالاهای فسادپذیر، فصلنامه مطالعات مدیریت صنعتی، ۲۰(۶۵)، ۱۴۳-۱۸۳.

DOI: 10.22054/JIMS.2022.36129.2168



Industrial Management Studies is licensed under a Creative Commons Attribution-NonCommercial 4.0 International License.

