International Journal of Industrial Engineering & Production Management (2016)
December 2016, Volume 27, Number 4
pp. 697-712

http://IJIEPM.iust.ac.ir/

Applying Capaciated Traveling Purchaser Problem for Multi-period Order Lot-sizing Problem and Solving it with Differential Evolution Algorithm

Mohammad khosroabadi., Hasan Khademi Zare* & Hasan Hoseini Nasab

Mohammad khosroabadi, *Depertment of Industrial Engineering Yazd University*
Hasan Khademi Zare, *Depertment of Industrial Engineering Yazd University*
Hasan Hoseini Nasab *Depertment of Industrial Engineering Yazd University*

Keywords

Traveling purchaser problem,
Order lot-sizing,
Differential evolution algorithm,
Discount,
Vehicle routing

ABSTRACT

The traveling purchaser problem (TPP) is a generalizes of well-known traveling salesman problem (TSP). In this case in opposite of the traveling salesman problem, which is related to the distribution level of the product, including the supply of goods and raw materials are considered. In previous models to determine the multi-period economic lot-size, routing of vehicles is not considered, but in this paper, by combining vehicles routing whit using TPP development and using lot sizing problem, we propose a new mixed-integer linear programming model to determine best multi-period ordering policy when suppliers offer price discount.In this model, in addition to all costs, including purchase cost, transportation and carrying costs simultaneously, the optimal path of the vehicle is determined.closer to the real world we consider assumptions such as percentage of defective, capacity of vehicles and storage capacity. The results confirm that considering simultaneously the three proposed objectives, i.e.,- purchase costs, transportation and carrying costs, could result in an decrement more than 40% in the total costs. Due to the high computational complexity of the proposed model, a differential evolution algorithm is also presented. Numerical results confirm that the proposed algorithm can obtain the optimum/near optimum solutions in much less computational times compared to the exact solutions.

© 2016 IUST Publication, IJIEPM Vol. 27, No. 4, All Rights Reserved

نشـریه بین المللـی مهنـدسی صنـایع و مدیـریت تولید

شمـــاره ۴، جلـــد ۲۷، زمستان ۱۳۹۵
صفحـــه۷۱۲-۶۹۸

نشریه بین المللی مهندسی صنایع و مدیریت تولید دانشگاه علم و صنعت ایران

ISSN: 2008-4870

http://IJIEPM.iust.ac.ir/

استفاده از مسأله خریدار دوره گرد ظرفیت دار برای تعیین اندازه انباشته اقتصادی چند دوره‌ای و حل آن با الگوریتم تکامل تفاضلی

محمد خسروآبادی، حسن خادمی زارع* و حسن حسینی نسب

کلمات کلیدی

مسأله خریدار دوره گرد، تعیین اندازه سفارش، انتخاب تأمین‌کننده، تخفیف، مسیریابی وسایل نقلیه

چکیده:

مسأله خریدار دوره گرد یک حالت خاص از مسأله معروف فروشنده دوره گرد است. در این مورد بر خلاف مسأله فروشنده دوره گرد که به سطح توزیع محصول مربوط می‌شود، سطح تامین کالا و مواد اولیه را در نظر می گیرد. در مدل های قبلی برای تعیین اندازه انباشته اقتصادی چند دوره‌ای، مسیریابی وسایل نقلیه در نظر گرفته نمی‌شود اما در این مقاله با تلفیق مسیریابی وسایل نقلیه با استفاده از توسعه مسأله خریدار دوره گرد و مسأله اندازه انباشته چند دوره‌ای به ارائه یک مدل برنامه ریزی خطی عدد صحیح مختلط جدید برای تعیین بهترین خط مشی سفارش‌دهی چند دوره‌ای در شرایطی که تامین‌کنندگان برای قیمت کالا تخفیف پیشنهاد می‌کنند می‌پردازیم. در این مدل علاوه بر لحاظ کردن همه هزینه ها مانند هزینه خرید، حمل و نقل و نگهداری به طور همزمان، مسیر بهینه وسایل نقلیه نیز مشخص می‌شود. همچنین برای نزدیک شدن به دنیای واقعی فرضیاتی چون درصد اقلام معیوب، ظرفیت وسایل نقلیه و انبار خریدار نیز لحاظ می‌شود. نتایج تایید می‌کند توجه همزمان به هر سه هدف هزینه‌های خرید، هزینه‌های حمل و نقل و نگهداری می‌تواند موجب کاهش کل هزینه ها بیش از ۴۰درصد شود. همچنین به دلیل پیچیدگی محاسباتی بالای مدل پیشنهادی، یک الگوریتم تکامل تفاضلی پیشنهاد شده است. نتایج نشان می‌دهد که الگوریتم حل پیشنهادی، توانایی رسیدن به جواب‌های بهینه/نزدیک به بهینه را در زمان‌های محاسباتی بسیار کمتر از روش‌های دقیق دارد.

۱. مقدمه

کاهش تعداد تأمین‌کنندگان در زنجیره تأمین، یکی از راه‌های کاهش هزینه است زیرا به طور متوسط ۷۰ درصد ارزش محصولات نهایی را هزینه خرید بیرونی مواد و خدمات تشکیل می‌دهد [۱]. یکی دیگر از راه های کاهش هزینه، تقلیل هزینه های حمل و نقل تامین مواد است و این امر بوسیله مسأله خریدار دوره گرد (Traveling Purchasing Problem-TPP) حاصل می‌شود. تاکنون در کشور ما هیچ مطالعه ای در مورد این مسأله صورت نگرفته است و یکی از موضوعات بسیار کاربردی و نو برای محققین می‌باشد. مسأله خریدار دروه گرد یک حالت خاصی از مسأله معروف فروشنده دوره گرد (TSP) است که کاربرد های فراوانی در دنیای واقعی دارد مانند خرید مواد خام اولیه برای کارخانه جات تولیدی، زمان‌بندی مجموعه ای از کارها روی ماشین‌هایی که زمان آماده سازی متفاوتی دارند، زمانبندی مجموعه‌ای از کارها روی ماشین‌های چند کاره یا چند حالته که فروشگاه‌ها نشان دهنده حالات ماشین‌هاست و محصولات مختلف نشان دهنده کارهای مختلف و هزینه‌های سفر نشان دهنده هزینه آماده سازی و هزینه خرید نشان دهنده فرآیند یک کار روی یک حالت از ماشین است [۳،۲].مسایل انبار داری، مکان یابی انبارها و یافتن بهترین مکان برای ایجاد کارخانه ، طراحی شبکه‌های ارتباطی مخابراتی و کابلی

تاریخ وصول: ۹۳/۴/۱۳

تاریخ تصویب: ۹۴/۱۰/۱۶

محمد خسروآبادی، دانشکده فنی و مهندسی- گروه مهندسی صنایع، دانشگاه یزد khosroabadi.mohammad20@yahoo.com

حسن حسینی نسب، دانشکده فنی و مهندسی- گروه مهندسی صنایع، دانشگاه یزد hhn@yazd.ac.ir

*نویسنده مسئول مقاله: **حسن خادمی زارع**، دانشکده فنی و مهندسی- گروه مهندسی صنایع، دانشگاه یزد hkhademiz@yazd.ac.ir

باعث کاهش مسیر و هزینه حمل می باشد. همچنین مسأله خریدار دوره‌گرد را می‌توان با اضافه کردن محدودیت‌هایی مثل در نظر گرفتن چند خریدار و محدودیت ظرفیت و فاصله و زمان برای مسیریابی وسایل نقلیه به کاربرد. ولی بر خلاف مسائل مسیریابی وسایل نقلیه و فروشنده دوره‌گرد تحقیقات زیادی در این زمینه در دنیا انجام نشده است. هدف خریداران یافتن بهترین مسیر و استراتژی خرید است که هزینه‌های حمل و نقل و هزینه‌های خرید را کمینه کند. خریدار بر اساس هزینه‌های حمل و نقلی که برای رفتن به یک مرکز تامین و قیمت کالایی که در آن مرکز وجود دارد مسیری را انتخاب می‌کند که با پرداخت حداقل هزینه یا طی حداقل مسیر تامین‌کننده ای را انتخاب کند که هزینه‌های او را حد اقل کند.

ساختار مسأله خریدار دوره‌گرد در مسائل دنیای واقعی کاربردهای فراوانی دارد. با توجه به دانش و مطالعات نگارنده به دلیل نو و جدید بودن مسأله خریدار دوره گرد در ایران تا کنون هیچ تحقیق و پژوهشی در کشورمان در این زمینه انجام نشده است. مدیران شرکت‌ها و کارخانه‌ها نیازمند ابزاری هستند که بتوانند مناسب‌ترین تأمین‌کنندگان را بر اساس قیمت پیشنهادی، هزینه های حمل، کیفیت اقلام ارسالی، و ظرفیت وسایل حمل‌ونقل انتخاب کنند و مواد خام را از کوتاه‌ترین مسیر تامین کنند. بعلاوه، باید بتوانند میزان سفارش خود را برای دوره‌های آتی بر اساس محدودیت فضای انبار و هزینه رکود سرمایه مشخص کنند. تاکنون پژوهش‌های زیادی در مورد انتخاب تأمین‌کننده، تعیین اندازه سفارش اقتصادی، تخفیف در هزینه‌های خرید، در نظر گرفتن نرخ ضایعات، و ظرفیت وسایل نقلیه انجام شده ولی نیاز به یک مدل برنامه‌ریزی ریاضی کاربردی که مسیر بهینه خرید از هر تامین کننده را نیز به طور همزمان مورد توجه قرار دهد، احساس می‌شود. در این مقاله، به ارائه یک مدل جدید برنامه‌ریزی خطی عدد صحیح مختلط با استفاده از مسأله جدید علمی و کاربردی خریدار دوره گرد برای تعیین اندازه سفارش اقتصادی چند دوره‌ای در شرایطی که تامین کنندگان برای تشویق خریدار به سفارش گذاری در اندازه‌های بزرگتر تخفیف ارائه می‌کنند می‌پردازیم. ویژگی بسیار مهم مدل پیشنهادی این است که برای سفارش‌گذاری در دوره‌های مختلف به تامین‌کنندگان منتخب، علاوه بر لحاظ کردن قیمت محصول در شرایط تخفیف و هزینه‌های نگهداری، هزینه‌های حمل و نقل یا مسیر بهینه حرکت وسیله نقلیه از انبار مرکزی تا تامین‌کنندگان و از یک تامین کننده تا تامین‌کننده دیگر نیز مد نظر قرار می‌گیرد و بهترین مسیر نیز مشخص می‌شود. بنابراین فاصله تامین‌کنندگان نیز مانند قیمت پیشنهادی آنها در انتخاب و میزان خرید از آنها بسیار مهم است و ابزاری قدرتمند برای تصمیم‌گیری مدیران در افق برنامه‌ریزی میان‌مدت خواهد بود. تصمیم گیرنده از اولین دوره برنامه ریزی می‌داند در هر دوره از کدام تامین‌کننده به چه میزان باید خریداری شود و وسیله نقلیه ارسالی با توجه به ظرفیتش از کدام مسیر برای خرید به سمت تامین‌کنندگان مختلف حرکت کند. برای نزدیک شدن به دنیای واقعی به فرضیات دیگری همچون ظرفیت وسایل نقلیه مختلف، کیفیت اقلام و ظرفیت انبار نیز در مدل‌سازی توجه شده است. همچنین کارهایی که در زمینه مسأله خریدار دوره گرد انجام شده تک دوره‌ای بوده است که در این مقاله به صورت چند دوره‌ای ارائه شده است.

در بخش دوم مقاله، با توجه به اینکه پژوهش‌های انجام شده در زمینه تعیین اندازه سفارش و تخفیف در قیمت مجزا از مسیر یابی و مسأله خریدار دوره گرد انجام شده ما نیز به اجبار به صورت جدا بررسی می‌کنیم. در بخش سوم، تعریف و فرضیات مسأله و مدل ریاضی آن بیان می‌شود. در بخش چهارم، مثال‌های عددی برای ارزیابی اعتبار مدل و پیچیدگی محاسباتی آن، و در بخش پنجم، تحلیل حساسیت پارامترهای مدل ارائه می‌شود. در پایان، نتایج حاصل از ارائه مدل و تحلیل حساسیت آن ذکر خواهد شد.

۲. مروری بر ادبیات

استون و دمیرتاس [۴] اندازه سفارش اقتصادی را با استفاده از یک رویکرد برنامه‌ریزی آرمانی با اهداف بودجه، کیفیت، ارزش خرید و تقاضا تعیین کردند، در حالی‌که هزینه حمل‌ونقل به ازای واحد کالا محسوب شد. دمیرتاس و استون [۵] مسأله توأم انتخاب بهترین تأمین‌کننده و تعیین اندازه سفارش چند دوره‌ای را با استفاده از تصمیم‌گیری چند هدفه مورد مطالعه قرار دادند. تسائو و لو [۶] یک روش تقریبی برای حل مسأله طراحی شبکه تأمین چند سطحی ارائه کردند که در آن هزینه‌های موجودی، سفارش‌دهی، حمل‌ونقل و تسهیلات به صورت یکپارچه لحاظ شدند. درویش [۷] یک مدل ریاضی اندازه سفارش با در نظر گرفتن هزینه حمل‌و-نقل و خرید محصول در شرایط تقاضای تصادفی توسعه داد. بر اساس نتایج، وقتی هزینه‌های حمل‌و نقل و خرید به طور همزمان در نظر گرفته می‌شوند، هزینه‌های اندازه سفارش در شرایط عدم قطعیت تقاضا می‌تواند تا ۱۷/۵٪ کاهش یابد. داهل [۸] مسأله تعیین اندازه سفارش را وقتی تأمین‌کنندگان با توجه به کل مبلغ خرید تخفیف‌هایی ارائه می‌دهند، با یک مدل برنامه‌ریزی خطی چندهدفه بررسی کرد. اهداف خریدار برای انتخاب تأمین‌کننده شامل قیمت کمتر، حمل به موقع و کیفیت مناسب بود. تأمین‌کنندگان محدودیت‌هایی دارند، می‌توانند چند محصول مختلف ارائه کنند و باید کالا را به محل‌های مختلفی با قیمت‌های متفاوت تحویل دهند. موسوی و همکاران [۹] مدلی برای کنترل

موجودی چند دوره‌ای چند محصولی فصلی با وجود تورم و تخفیف کلی توسعه دادند که محصولات درجعبه‌هایی با تعداد مشخص دریافت می‌شود و کمبود به صورت پس‌افت مجاز است. فضای انبار و بودجه محدودیت در نظر گرفته شد و هدف یافتن تعداد بهینه جعبه‌های محصولات در هر دوره برای کمینه‌سازی هزینه‌های نگهداری، کمبود، خرید و سفارش‌دهی بود. مندوزا و ونتورا [۱۰] یک مدل غیرخطی عددصحیح مختلط با هدف کمینه کردن هزینه-های خرید کالا، حمل‌ونقل، و نگهداری موجودی برای بررسی تأثیر هزینه‌های حمل‌ونقل روی انتخاب تأمین‌کننده و مدیریت موجودی ارائه کردند. نتایج نشان داد که توجه به هزینه‌های حمل‌ونقل در برنامه‌ریزی موجودی، نه تنها در تعداد کالای ارسالی از تأمین‌کننده منتخب تأثیرگذار است بلکه بر انتخاب خود تأمین‌کننده نیز مؤثر خواهد بود. در واقع، اگر هزینه‌های حمل‌ونقل لحاظ نشود، به طور متوسط ماهانه ۱۴/۷ درصد کل هزینه‌ها و ۸۸/۹ درصد هزینه‌های حمل‌ونقل افزایش می‌یابد.

جبل عاملی و همکاران [۱۱] مسأله طراحی سیستم لجستیک امداد با رویکرد برنامه ریزی امکانی چندهدفه را مورد بررسی قرار دادند. مدل آنها شامل دو هدف کمینه کردن هزینه‌های حمل و کمبود و بیشینه نمودن رضایت نقاط آسیب دیده است.ستاک و همکارش [۱۲] مسأله را در شرایطی که دو لایه تامین وجود دارد و در نظر گرفتن تخفیف برای تامین کنندگان لایه اول را مورد بررسی قرار دادند. نخعی وهمکارش [۱۳] مسأله اندازه سفارش برای کالاهای فاسد شدنی را مورد بررسی قرار دادند. لی و همکاران [۱۴] یک مدل برنامه‌ریزی خطی عددصحیح با هدف کاهش همزمان هزینه‌های خرید، نگهداری، سفارش‌دهی و حمل‌ونقل در شرایط تخفیف کلی برای قیمت محصول ارائه کردند. هدف، تعیین سطح بازپرسازی مواد بود. آنها برای حل مدل از الگوریتم ژنتیک بهره گرفتند. همچنین لی و همکاران [۱۵] در مطالعه مشابه دیگری، مدل را در حالتی که قیمت محصول شامل تخفیف کلی و جزئی می‌شود دوباره بررسی کردند. منسینی و همکاران [۱۶] یک مدل برنامه‌ریزی خطی یک دوره‌ای چند محصولی برای انتخاب تأمین‌کننده در شرایط وجود تخفیف قیمت با تابع هدف تنها شامل هزینه خرید و حمل‌ونقل ارائه کردند. نتایج نشان داد ظرفیت وسایل نقلیه، تخفیف قیمت و ساختار هزینه‌ها به شدت تأثیرگذار هستند. اگر تعداد کمی از تأمین-کنندگان تخفیف بدهند، مدل تمایل دارد همگی را انتخاب کند اما وقتی همه تأمین‌کنندگان تخفیف ارائه می‌کنند، تمرکز روی برقراری تعادل بین هزینه‌های خرید و حمل‌ونقل است. مسأله خریدار دوره گرد برای اولین بار توسط بورستال [۱۷] در سال ۱۹۶۶ در مورد زمانبندی job shop به کار گرفته شد ولی اولین کار به عنوان مسأله خریدار دوره گرد توسط رامش [۱۸،۱۷] در سال ۱۹۸۱ ارائه شد. در آن مقاله نویسنده یک الگوریتم دقیق و یک الگوریتم ابتکاری ارائه داده است. روش دقیق بر اساس جستجوی لکسیکوگرافی برای یافتن جواب بهینه ارائه شده است. روش ابتکاری یک مدل از الگوریتم همسایگی نزدیک است که برای مسأله فروشنده دوره گرد ارائه شده است. مسأله خریدار دوره گرد توسط رامش [۱۹] به صورت زیر تعریف شده است: فرض کنید مجموعه ای از m فروشگاه و مجموعه ای از n محصولی که باید خریداری شود وجود دارد. هزینه سفر بین هر جفت از فروشگاه‌ها و قیمت خرید هر محصول در هر فروشگاه مشخص است. خریدار در مسیرش نیازی ندارد که همه گره‌ها را ملاقات کند. هدف یافتن یک مسیر برای خرید است که هزینه کلی سفر و هزینه خرید همه محصولات را کمینه کند. او مسأله‌اش را تا ۱۲ فروشگاه و ۱۰ محصول با الگوریتم لکسیکوگرافی حل کرده است. وس [۲۰] یک روش فراابتکاری برای مسأله خریدار دوره گرد بدون ظرفیت ارائه کرد که بر اساس شبیه سازی آنیلینگ و جستجوی ممنوع پویا می‌باشد. او دو استراتژی برای مدیریت لیست ممنوع پیشنهاد کرده است. این دو استراتژی، استراتژی حذف معکوس و روش لغو متوالی بوده است. همچنین دو روش ابتکاری برای ساختار تور اولیه پیشنهاد کرده است. سینگ و همکارش [۲۱] یک الگوریتم انشعاب و تحدید برای مسأله خریدار دوره گرد ارائه کردند. ایده اصلی آن انتخاب یک زیر مسیر از فروشگاه‌ها برای سفر و تعیین بهینه‌ترین مسیر برای این مجموعه از فروشگاه‌ها می‌باشد. لاپرته و همکارانش [۲۲] برای اولین بار بر روی مسأله خریدار دوره گرد با محدودیت ظرفیت (capaciated traveling purchaser problem) کار کردند. در مسأله خریدار دوره گرد بدون محدودیت ظرفیت (uncapaciated traveling purchaser problem) طبق تعریف رامش به صراحت فرض شده است که اگر یک محصول در فروشگاه موجود باشد به میزان کافی وجود دارد [۲۳] ولی در حالت ظرفیت دار فرض بر این است که موجودی یک محصول در یک فروشگاه می‌تواند کمتر از تقاضا نیز باشد. همچنین آنها یک روش ابتکاری برای (UTTP) و (CTTP) ارائه کردند. بوکتور و همکارانش [۲۳] دو روش ابتکاری برای (UTTP) بر اساس جستجوی ممنوع و یک روش برای (CTTP) ارائه کرند در این مقاله هفت فرآیند اصلی: ۱- انتخاب فروشگاه ۲- اضافه کردن فروشگاه ۳- جابجایی فروشگاه‌ها ۴- فرآیند ابتکاری ۵- کمترین همسایگی ۶- انتخاب دوتایی فروشگاه‌ها ۷- جابجایی دوتایی فروشگاه‌ها با یکدیگر در نظر گرفته شده است. تینینگا [۲۴] الگوریتم رامش را توسعه داد و یک الگوریتم ابتکاری برای حل مسأله ارائه کردند. ریرا لدسما و همکارانش [۲۵] یک الگوریتم جستجوی محلی با استفاده از یک فرآیند ابتکاری را پیشنهاد کردند. که در آن هر همسایگی از جابجایی یک بردار متوالی از مسیر و قرار دادن یک مسیر جدید با در نظر گرفتن امکان پذیری حاصل می‌شود. الگوریتم آنها برای مسائل مشابه در مسیریابی وسایل حمل و نقل که هدف حداقل کردن هزینه در سیکل‌های غیر همیلتونی است با اضافه

کردن محدودیت نیز کاربرد دارد. ریرا لدسما و همکارانش [۲۶] کاربرد الگوریتم برش جدید خود را در مسأله (TPP) که تابع هدف آنها از دو جز تشکیل شده است و به طور همزمان هزینه‌های سفر و هزینه‌های خرید محصول را کمینه می‌کند بررسی کردند. هر کدام از توابع هدف به طور جداگانه با الگوریتم برش حل می‌شوند و یک الگوریتم ابتکاری بر اساس بهبود برش‌های تولید شده قبلی که در یک استخری از برش قرار دارند سرعت عملکرد فرآیند را افزایش می‌دهد. بونتوکس و همکارش [۲۷] یک الگوریتم ترکیبی جدید ارائه کردند که شامل یک الگوریتم کلونی مورچگان و فرآیند جستجوی محلی می‌شد. الگوریتم مورچگان یک فضای خوب را برای جستجو پیدا می‌کرد و الگوریتم جستجوی محلی به جستجوی دقیق ناحیه می‌پرداخت. آنها برای حل مدل خود یک الگوریتم جستجوی محلی افزایشی کارا و یک روش جستجوی همسایگی متفاوت را نیز پیشنهاد کردند. آنجلیلی [۲۸] به بررسی استراتژی خاکستری در(TPP) پویا و تاثیر آنها بر روی جواب‌ها در بخش امکان پذیری و هزینه‌ها پرداختند. بر اساس این تحقیق و استراتژی ذکر شده در آن تمرکز زیاد روی هزینه‌های خرید منجر به نتایج بد در ارزیابی شرایط خواهد شد. گلدبرگ و همکارش [۱۷] یک الگوریتم ترنس ژنیک برای (TPP) ارائه کردند الگوریتم آنها یک الگوریتم موثر در ارزیابی کروموزوم‌ها می‌باشد. آنها از یک روش جدید برای تقاطع و جهش کروموزوم‌ها استفاده کرده‌اند. منسینی [۲۹] یک مدل با برای مسأله خریدار دوره‌گرد با در نظر گرفتن محدودیت بودجه ارائه کردند. بر این اساس هزینه‌های سفر در تابع هدف حداقل می‌گردد و هزینه‌های خرید محصول با یک محدودیت کنترل می‌شود. یانگ و همکارش [۳۰] در سال مسأله خریدار دوره گرد با هزینه خرید احتمالی را بررسی کردند. آنها دو رش حل که یکی الگوریتم تقریبی که یک حد پایین و بالا برای هزینه‌ها مشخص می‌کند و زمان محاسبات را به طور قابل توجهی کاهش می‌دهد ارائه کردند دیگری پیشنهاد کردند یک روش ابتکاری خاکستری برای مسأله‌های با مقیاس بزرگ که با سرعت نسبتا خوبی به جواب می‌رسد. لوئیس گوویا و همکارانش [۳۱] به بررسی نوع متفاوتی از مسأله خریدار دوره‌گرد با در نظر گرفتن برخی محدودیت‌ها و فرضیات اضافی پرداختند. آنها بر روی حداکثر تعداد تامین‌کننده‌هایی که می‌توانند ملاقات شوند و تعداد محصولاتی که از هر تامین‌کننده می‌توان خریداری کرد محدودیت گذاشتند. آنجلیلی و همکارانش [۳۲] به آنالیز یک مسأله پویا پرداختند که مقادیر بر حسب زمان می‌تواند تغییر کند به این معنی که خریدار تقاضا را در زمان کنونی می‌داند ولی اتفاقاتی که در آینده روی این تقاضا تاثیر خواهد گذاشت اطلاعی ندارد و ممکن است تغییراتی در تقاضای او ایجاد شود. آنها دو گروه از روش‌های ابتکاری را پیشنهاد کردند. اولی شامل روش‌هایی است که تامین‌کننده‌ها با توجه به در نظر گرفتن معیارهای طماع (Greedy criteria) بر اساس یکی از دو تابع هدف یعنی هزینه حمل و نقل و هزینه خرید انتخاب می‌شوند و دیگری یک روش ابتکاری بر اساس نگاه به آینده که هر دو هزینه حمل و نقل و هزینه خرید را بر اساس پیش بینی‌هایی از آینده در نظر می‌گیرد. پیش بینی آینده می‌تواند روی جواب‌ها تاثیر گذار باشد. اگر تغییرات دنیای واقعی کم باشد یا به آرامی رخ دهد جواب‌ها نزیک به هم خواهد بود در مقابل در شرایطی که تغییرات سریع است هرچه پیش‌بینی از تقاضای واقعی انحراف داشته باشد به دلیل ملاقات تامین‌کننده‌های بیشتر هزینه‌ها افزایش بیشتری دارند. ریرا لدسما و همکارانش [۳۳] به مسأله مسیریابی اتوبوس مدرسه و انتخاب ایستگاه اتوبوس با استفاده از مسأله خریدار دوره گرد برای یافتن بهترین محل برای ایجاد ایستگاه اتوبوس که در کوتاه‌ترین مسیر همه دانش آموزان را سوار کند و به مدرسه برساند پرداختند و مشخص می‌کند که هر دانش آموز به کدام ایستگاه تخصیص یابد. این موضوع به مسأله مکان یابی– مسیریابی (Location-Routing problems) معروف است. آنها برای حل این مدل خود یک روش انشعاب و برش نیز ارائه کردند که تا ۱۲۵ مکان کاندید برای انتخاب ایستگاه نیز به خوبی عمل کرده است.

بنابراین از یک طرف بهتر است برای کاهش هزینه‌های حمل-ونقل و خرید محصول ناشی از تخفیف تأمین‌کننده، حجم هر بار سفارش بیشتر باشد و از طرف دیگر، برای کاهش هزینه‌های انبارداری و فرصت (سرمایه راکد در انبار)، مقدار هر بار سفارش به کمترین برسد. پس مسأله مورد بررسی در این مقاله این است که کدام تأمین‌کننده بر اساس میزان تخفیف و قیمت خرید پیشنهادی انتخاب شود و تعداد دفعات حمل به چه میزان می-تواند افزایش یابد تا در عین حال همزمان هزینه کل سیستم تأمین و انبارداری نیز در سطح مناسب قرار داشته باشد؟ کدام تامین‌کننده با توجه به فاصله‌اش از دپوی خریدار انتخاب شود؟ کدام وسیله نقلیه با کدام ظرفیت در هر دوره به هر گره ارسال شود؟ مسیر بهینه برای طی مسیر و خرید از گره‌های مختلف کدام است؟ آیا همیشه تامین‌کننده نزدیکتر انتخاب می‌شود و همیشه تامین‌کننده ارزان‌تر مطلوب است یا باید به این دو تعادل برقرار کرد؟

با این توضیحات نوآوری این مقاله عبارت است از (۱) ارائه یک مدل برنامه‌ریزی خطی مختلط عددصحیح با توجه همزمان به هزینه‌های خرید، نگهداری، و حمل‌ونقل و سفارش‌دهی، زیرا مدل‌هایی که همه این هزینه‌ها را در نظر گرفته‌اند بیشتر ماهیت غیرخطی دارند و (۲) لحاظ کردن همزمان تخفیف در قیمت محصول و مسیریابی وسایل نقلیه است، کاری که تا قبل از این انجام نشده است. این مدل علاوه بر اینکه می‌تواند تعیین کند با توجه به تخفیف پیشنهادی تامین‌کنندگان و فاصله آن‌ها از دپوی خریدار و از یکدیگر به چه میزان خرید شود همچنین مشخص می‌کند از کدام مسیربهینه باید برای تامین مواد اقدام کرد و

کدام گره‌ها به ترتیب ملاقات شوند. بنابراین به طور کلی کار اصلی مدل تلفیق دو مسأله اندازه انباشته اقتصادی چند دوره‌ای و مسیریابی وسایل نقلیه با یکدیگر است.

۳. بیان مسأله و مدل ریاضی

مسأله این است که از هر کالا به چه میزان باید سفارش داده شود تا علاوه بر استفاده از تخفیف قیمت، هزینه‌های انبار و نگهداری محصولات نیز در سطح بهینه قرار داشته باشد؟ کدام ترکیب از سفارشات با توجه به هزینه خرید و حمل و نقل می‌تواند بهینه باشد؟ در انتخاب تامین‌کننده کیفیت محصول او مد نظر قرار گیرد یا قیمت ارائه شده؟ تا چه اندازه‌ای تعداد دفعات حمل می‌تواند افزیش یابد و در عین حال هزینه کل سیستم تامین و انبارداری نیز در سطح مناسب قرار داشته باشد؟ مسیر بهینه برای دریافت کالاها از تامین‌کنندگان کدام است؟ بنابراین بهبود سیستم حمل و نقل به منظور اطمینان از در دسترس بودن به موقع قطعات و محصولات مورد نیاز از جایگاه ویژه ای برخوردار بوده و برنامه‌ریزی خریدار برای موجودی انبار خود تابع دیدگاه نوین کنترل موجودی توسط خریدار است. در ابتدا به بیان پارامترها و متغیرهای تصمیم خواهیم پرداخت و سپس مدل برنامه ریزی خطی ریاضی مسأله ارائه می شود.

۳-۱. پارامتر های مدل

i: اندیس تأمین‌کننده (i=0,1,2,…,I)

m: اندیس سطوح تخفیف در قیمت کالا (m=1,2,…,M)

t: اندیس دوره برنامه‌ریزی (t=1,2,…,T)

v: اندیس وسیله نقلیه(v=1,2,…,V)

p_{imt}: درصد اقلام معیوب که در دوره t در سطح قیمت m از تأمین‌کننده i خریده می‌شود

w_t: بیشترین ظرفیت انبار در دوره t

h_t: هزینه نگهداری واحد موجودی در دوره t

r_{imt}: قیمت واحد کالای سالم که در دوره t در سطح قیمت m از تأمین‌کننده i خریده می‌شود

q_{it}: ظرفیت تأمین‌کننده i در دوره t

c_{ij}: هزینه سفر از گره i به گره j

f_v: هزینه بکارگیری یا راه‌اندازی وسیله نقلیه v

c_v: ظرفیت وسیله نقلیه v

b_{imt}: حد بالای بازه تخفیف قیمت m که تأمین‌کننده i در دوره t تعیین می‌کند

d_t: تقاضای خریدار در دوره t

α_j: وزن تابع هدف jام

۳-۲. متغیرهای تصمیم

y_{imt}: تعداد کالایی که در دوره t در بازه تخفیف قیمت m از تأمین‌کننده i خریده می‌شود

x_{ijvt}: متغیر صفر-یک که مقدار یک می‌گیرد اگر در دوره t با وسیله نقلیه v از تامین‌کننده i به تامین‌کننده j برویم

I_t: موجودی پایان دوره t

z_{ivt}: تعداد کالایی که در دوره t با وسیله نقلیه v از تأمین‌کننده i خریده می‌شود

z_{it}: متغیر صفر-یک که مقدار یک می‌گیرد اگر در دوره t به تأمین‌کننده i سفارش داده شود

u_{imt}: متغیر صفر-یک که مقدار یک می‌گیرد اگر در دوره t در بازه تخفیف m از تامین‌کننده i خرید صورت گیرد

۳-۳. مدل ریاضی مسأله:

با توجه به توضیحات داده شده مسأله به صورت زیر فرموله می‌شود:

$$\text{Min } z = \alpha_1.z_1 + \alpha_2.z_2 + \alpha_3.z_3 \quad (۱)$$

$$z_1 = \sum_i \sum_m \sum_t (1-p_{it}).r_{imt}.y_{imt} \quad (a-۱)$$

$$z_2 = \sum_i \sum_j \sum_t c_{ij} \sum_v x_{ijvt} + \sum_j \sum_v \sum_t f_v.x_{0jvt} \quad (b-۱)$$

$$z_3 = \sum_t h_t.I_t \quad (c-۱)$$

$$I_{t-1} + \sum_i \sum_m (1-p_{it}).y_{imt} \geq d_t; \quad (۲)$$
t=1,2,…,T

$$b_{imt}.u_{imt} \leq y_{imt} \leq b_{i,m+1,t}.y_{imt}; \quad (۳)$$
i=1,2,…,I m=1,2,…,M t=1,2,…,T

$$\sum_m u_{imt} \leq 1; \quad (۴)$$
i=1,2,…,I t=1,2,…,T

$$y_{imt} \leq q_{it}.u_{imt}; \quad (۵)$$
i=1,2,…,I m=1,2,…,M t=1,2,…,T

$$I_{t-1} + \sum_i \sum_v (1-p_{it}).z_{ivt} \geq d_t; \quad (۶)$$
t=1,2,…,T

$$\sum_i \sum_v \sum_t (1-p_{it}).z_{ivt} \geq \sum_t d_t; \quad (۷)$$

$$\sum_i z_{ivt} \leq c_v; \quad (۸)$$
t=1,2,…,T v=1,2,…,V

$$\sum_v z_{ivt} = \sum_m y_{imt} \quad (۹)$$
i=1,2,…,I t=1,2,…,T

$$\sum_j x_{0jvt} \leq 1; \quad (۱۰)$$
t=1,2,…,T v=1,2,…,V

$$\sum_i x_{i0vt} \leq 1; \quad (۱۱)$$
t=1,2,…,T v=1,2,…,V

$$\sum_i x_{ipvt} - \sum_j x_{pjvt} = 0; \quad (۱۲)$$

$p=1,2,\ldots,I \quad t=1,2,\ldots,T \quad v=1,2,\ldots,V$

$$\sum_t \sum_v \sum_i x_{0ivt} \geq 1 \qquad (۱۳)$$

$$z_{jvt} \leq M.\sum_i x_{ijvt}\,; \qquad (۱۴)$$

$j=1,2,\ldots,I \quad t=1,2,\ldots,T \quad v=1,2,\ldots,V$

$$z_{jvt} \leq M.x_{0jvt}; \qquad (۱۵)$$

$j=1,2,\ldots,I \quad t=1,2,\ldots,T \quad v=1,2,\ldots,V$

$$\sum_j x_{0jvt} \geq u_{imt} \qquad (۱۶)$$

$i=1,2,\ldots,I \quad m=1,2,\ldots,M \quad t=1,2,\ldots,T$

$v=1,2,\ldots,V$

$$0 \leq I_t \leq w_t; \qquad (۱۷)$$

$t=1,2,\ldots,T$

$$x_{ipvt}, z_{ivt}, I_t \in \text{Integer};\ u_{imt} \in \{0,1\} \quad \forall i,v,m,t \qquad (۱۸)$$

۳-۴. معرفی توابع هدف مسأله

تابع هدف مسأله از سه جز تشکیل شده است: جزء اول (۱-a) تابع هدف سعی در خرید کالا از تامین‌کننده ارزان‌تر و حداقل کردن هزینه‌های خرید محصول دارد. جزء دوم تابع هدف (۱-b) که در راستای کاهش تعداد وسیله نقلیه به کار گرفته شده و مسیرهای (مسافت) طی شده می‌باشد مربوط به هزینه‌های سفر می‌گردد. جزء سوم تابع هدف (۱-c) نیز که سعی دارد هزینه نگهداری محصولاتی که در انتهای دوره در انبار می‌مانند را کمینه کند.

۳-۵. معرفی محدودیت‌های مدل

محدودیت (۲) در هر دوره برنامه‌ریزی بر اساس موجودی انتهای دوره قبل و درصد اقلام معیوب تامین‌کنندگان تقاضای دوره مورد نظر را بر آورده می‌کند. محدودیت (۳) مقدار سفارش در هر سطح قیمتی را به حدود بالایی و پایینی آن سطح محدود می‌کند. محدودیت (۴) تضمین می‌کند در هر دوره از هر تامین‌کننده فقط در یک سطح تخفیف پیشنهادی خرید انجام شود. محدودیت (۵) اجازه نمی‌دهد در هر دوره برنامه‌ریزی بیش از ظرفیت تامین کننده خرید شود. محدودیت (۶) تضمین می‌کند مجموع کالایی که با وسایل نقلیه مختلف در هر دوره خریداری می‌شود و تعداد کالایی که از دوره‌های قبل در انبار وجود دارد بیش از تقاضای دوره باشد. محدودیت (۸) به وسیله نقلیه ارسالی در هر دوره اجازه نمی‌دهد بیش از ظرفیت خود از تامین‌کنندگان مختلف خرید کند. محدودیت (۹) بیان می‌کند تعداد کالایی که در هر دروه با وسایل نقلیه مختلف از یک تامین‌کننده مشخص خریداری می‌شود باید برابر با تعداد کالایی باشد که از یکی از سطوح تخفیف پیشنهادی او خرید می‌شود. محدودیت (۱۰) بیان می‌کند هر وسیله نقلیه در هر دوره فقط یک بار می‌تواند از دپوی مرکزی خریدار خارج شود. محدودیت (۱۱) بیان می‌کند هر وسیله نقلیه در صورت خروج از دپو فقط یک بار می‌تواند به دپو وارد شود. محدودیت (۱۲) تضمین می‌کند در هر دوره اگر وسیله نقلیه‌ای به گرهی وارد شود حتما از آن خارج شود. محدودیت (۱۳) مدل را مجبور می‌کند حداقل یک وسیله نقلیه را در دوره‌های مختلف برای خرید کالا از گره‌ها خارج کند. محدودیت (۱۴) نشان می‌دهد برای خرید از یک گره با یک وسیله نقلیه در هر دوره حداقل باید از یک گره دیگر به گره مورد نظر وارد شویم. محدودیت (۱۵) مسیر را برای خرید از گرهی که در یک دوره قرار است از او خرید صورت گیرد باز می‌کند. محدودیت (۱۶) مدل را ملزم می‌کند در صورتی که تشخیص دهد از یک تامین‌کننده باید خرید صورت گیرد حداقل یک وسیله نقلیه از دپو ارسال کند. محدودیت (۱۷) بیان می‌کند در هر دوره نمی‌توان بیش از ظرفیت انبار کالا نگهداری کرد. محدودیت (۱۸) متغیرهای عدد صحیح و باینری مسأله را تعریف می‌کند.

۴. مثال عددی

برای بررسی اعتبار و درستی عملکرد مدل به ارائه یک مثال عددی خواهیم پرداخت. برای این منظور یک مثال با ۵ تامین کننده، با دوره برنامه ریزی ۶ماهه که هر تامین کننده سه سطح تخفیف قیمت پیشنهاد می‌دهد در نظر گرفته می‌شود. تقاضا در هر دوره ثابت و ۵۰۰ واحد است. ظرفیت هر وسیله نقلیه نیز ۹۰ واحد و خریدار در هر دوره ۸ وسیله برای خرید از تامین‌کنندگان در اختیار دارد. درصد اقلام معیوب همه تامین‌کنندگان ۱۰درصد محموله ارسالی است. هزینه به کارگیری هر وسیله نقلیه در هر دوره ثابت و برابر ۳۰۰۰۰ واحد پولی و هزینه نگهداری هر واحد کالا ۲۰۰۰ واحد پولی و ظرفیت انبار در هر دوره ثابت و ۵۰ و احد کالا است. درجدول (۱) بازه پیشنهادی هر سطح تخفیف برای تامین‌کننده در هر دوره برنامه ریزی و جدول (۲) قیمت پیشنهادی هر تامین‌کننده برای هر سطح تخفیف در هر دوره برنامه ریزی ارائه شده است. جدول (۳) فاصله تامین‌کنندگان از یکدیگر و دپوی مرکزی را نشان می‌دهد. فاصله ها به صورت متقارن در نظرگرفته می‌شود. جدول (۴) حداکثر ظرفیت تولید هر تامین‌کننده در دوره های مختلف را نشان می‌دهد. برای حل مدل از بسته نرم‌افزار برنامه‌ریزی ریاضی گمز ۲۲.۲ استفاده شد. بسته‌های بهینه‌سازی برنامه‌ریزی مختلط عددصحیح مانند گمز می‌توانند به جواب بهینه سرتاسری برسند یا جواب‌هایی با شکاف بهینگی نسبی قابل‌قبول تضمین کنند. این نرم‌افزارها از روشی کارا به نام انشعاب و برش (Branch-and-Cut) استفاده می‌کنند که ترکیبی مؤثر از دو تکنیک حل معتبر یعنی انشعاب و تحدید و صفحات برشی است. جدول (۵) تعداد کالای خریداری شده در هر دوره برنامه ریزی از هر سطح تخفیف تامین‌کنندگان را نشان می‌دهد. جدول (۶) سه هزینه مسأله و هزینه کلی را نشان می‌دهد. جدول (۷) تعداد کالایی که در

هر دوره با هر وسیله نقلیه از تامین‌کنندگان خریداری می‌شود را نشان می‌دهد. با توجه به اینکه قیمت پیشنهادی تامین‌کننده پنجم در دوره اول و دوم مناسب است مدل به اندازه حداکثر ظرفیت تولید او سفارش می‌دهد این در حالی است که این تامین‌کننده دورترین فاصله را از دپوی مرکزی خریدار دارد. تامین‌کننده اول و دوم به علت نزدیکی به دپوی مرکزی قیمت بالاتری پیشنهاد می‌دهند ولی نزدیک بودن آنها موجب سفارش دهی نمی‌شود چرا که قیمت پیشنهادی آنها بسیار بالاتر است به طوری که بالا بودن قیمت خرید از آنها در مقابل هزینه هزینه‌های حمل و نقل قابل چشم پوشی نیست. تامین‌کننده سوم هم از لحاظ قیمت محصول و هم از لحاظ فاصله تا دپوی خریدار میانه‌ی تامین‌کنندگان دیگر قرار دارد ولی با توجه به صرفه خرید از دو تامین‌کننده آخر و همچنین برآورده شدن تقاضا، سفارشی دریافت نمی‌کند. با توجه به اینکه تقاضا ۵۰۰ واحد است و درصد اقلام معیوب نیز ۱۰ درصد است در نتیجه در دوره اول باید حداقل ۵۵۰ واحد سفارش داده شود حال اگر ۶ وسیله نقلیه با ظرفیت ۹۰ واحد برای خرید ارسال شود ۵۴۰ محصول خریداری می‌شود در نتیجه برای خرید ۱۰ واحد باقی مانده باید یک وسیله دیگر نیز ارسال گردد که مجموع هزینه ارسال هر وسیله نقلیه و هزینه‌ای که بابت طی مسافت تا تامین‌کنندگان طی می‌کند در برابر خرید کالای بیشتر و استفاده از تخفیف قیمت و هزینه‌های نگهداری کالا بیشتر است بنابراین مدل تصمیم می‌گیرد بیش از نیاز دوره سفارش دهد در نتیجه وسیله نقلیه هفتم ارسال و ۳۰ واحد از ظرفیت باقی مانده تامین‌کننده پنجم خرید و در مسیر برگشت به محل تامین‌کننده چهارم رفته و ۲۰ واحد از او خرید می‌کند که در مجموع ۲۹۰ واحد و به اندازه حداکثر ظرفیت او خرید انجام می‌دهد. در دوره سوم و چهارم تامین‌کنندگان اول و سوم قیمت پیشنهادی را کاهش می‌دهند و تامین‌کنندگان دوم و پنجم افزایش ولی تامین‌کننده چهارم تغییری نمی‌دهد. تامین‌کننده پنجم با این افزایش مطلوبیت خود را به دلیل فاصله زیاد از دست می‌دهد و هیچ سفارشی دریافت نمی‌کند. تامین‌کننده اول متوجه اشتباه خود می‌شود و قیمت را کاهش می‌دهد ولی این کاهش قیمت به اندازه ای نیست که خریدار را ترغیب به خرید کند بنابراین او نیز علی رغم فاصله بسیار کم نسبت به سایر تامین‌کنندگان به دپوی خریدار سفارشی دریافت نمی‌کند. تامین‌کننده سوم که در دو دوره قبلی نیز شانس انتخاب را داشت و به دلیل برآورده شدن تقاضا سفارش دریافت نکرد با کمی کاهش در قیمت با وجود فاصله بیشتر نسبت به تامین‌کنندگان اول و دوم توانست نظر خریدار را جلب و سفارش دریافت کند. در دوره پنجم و ششم علاوه بر قیمت پیشنهادی حدود بالا و پایین هر بازه تخفیف نیز تغییر می‌کند. تامین‌کننده اول قیمت خود را بسیار کاهش می‌دهد ولی در مقابل حدود بازه هر سطح تخفیف را نیز افزایش می‌دهد. تامین‌کننده دوم نیز متوجه اشتباه خود می‌شود و قیمت را کاهش می‌دهد ولی او هم حدود بازه سطح تخفیف را نیز افزایش

جدول ۱. سطوح قیمت و حدود بازه تخفیف

تامین کننده	قیمت	دوره اول تا چهارم	دوره پنجم و ششم
اول	سطح اول	$۰ < y_{imt} < ۱۰۰$	$۰ < y_{imt} < ۱۲۰$
	سطح دوم	$y_{imt} < ۲۰۰$ $۱۰۰ \leq$	$۱۲۰ \leq y_{imt} < ۲۲۰$
	سطح سوم	$y_{imt} \geq ۲۰۰$	$y_{imt} \geq ۲۲۰$
دوم	سطح اول	$۰ < y_{imt} < ۱۱۰$	$۰ < y_{imt} < ۱۳۰$
	سطح دوم	$۱۱۰ \leq y_{imt} < ۲۴۰$	$۱۳۰ \leq y_{imt} < ۲۵۰$
	سطح سوم	$y_{imt} \geq ۲۴۰$	$y_{imt} \geq ۲۵۰$
سوم	سطح اول	$۰ < y_{imt} < ۱۲۰$	$۰ < y_{imt} < ۱۲۰$
	سطح دوم	$y_{imt} < ۲۲۰$ $۱۲۰ \leq$	$۱۲۰ \leq y_{imt} < ۲۲۰$
	سطح سوم	$y_{imt} \geq ۲۵۰$	$y_{imt} \geq ۲۲۰$
چهارم	سطح اول	$۰ < y_{imt} < ۱۲۰$	$۰ < y_{imt} < ۱۱۰$
	سطح دوم	$y_{imt} < ۲۳۰$ $۱۲۰ \leq$	$۱۱۰ \leq y_{imt} < ۲۱۰$
	سطح سوم	$y_{imt} \geq ۲۳۰$	$y_{imt} \geq ۲۱۰$
پنجم	سطح اول	$۰ < y_{imt} < ۱۳۰$	$۰ < y_{imt} < ۱۰۰$
	سطح دوم	$y_{imt} < ۲۶۰$ $۱۳۰ \leq$	$۱۰۰ \leq y_{imt} < ۲۰۰$
	سطح سوم	$y_{imt} \geq ۲۶۰$	$y_{imt} \geq ۲۰۰$

می‌دهد. تامین‌کننده سوم که در دو دوره قبل سفارش دریافت کرده است حدود سطوح تخفیف را تغییر نمی‌دهد ولی قیمت خود را بسیار افزایش می‌دهد. تامین‌کننده چهارم علاوه بر کاهش قیمت حدود بازه سطوح تخفیف خود را نیز کاهش می‌دهد. تامین‌کننده پنجم قیمت را افزایش ولی حدود بازه سطوح تخفیف را کاهش می‌هد. این تغییرات سبب می‌شود تامین کننده اول و چهارم انتخاب شوند. تامین‌کننده اول با وجود بالاتر بودن قیمت پیشنهادی و بالاتر بودن حدود بالای هر بازه سطوح تخفیف به دلیل نزدیکتر بودن به خریدار مطلوبیت بیشتری دارد و ابتدا سعی می‌شود به اندازه حداکثر ظرفیت او سفارش داده شود و مابقی تقاضا توسط تامین‌کننده چهارم ارضا شود. جدول (۸) مسیر وسایل نقلیه در دوره برنامه ریزی را مشخص می‌کند. به دلیل اینکه غالباً هر وسیله نقلیه به اندازه حداکثر ظرفیت خود خرید می‌کند یا به دلیل برآورده شدن تقاضا برای خرید به تامین‌کننده دیگر مراجعه نمی‌کند صرفا مسیر رفت از دپوی خریدار به تامین‌کننده منتخب مشخص می‌شود ولی در ردیف

۲۴ تا ۲۷ به دلیل اینکه وسیله نقلیه برای ارضای تقاضا از دو تامین‌کننده خرید می‌کند مسیر بین آنها و مسیر برگشت نیز آورده می‌شود. برای مثال وسیله شماره ۴ (ردیف ۱۵) در دوره های اول، سوم و چهارم به تامین‌کننده چهار ارسال شده و در دوره اول بعد از خرید کالا به دپو بازگشته ولی در دوره های سوم و چهارم به دلیل اتمام ظرفیت تامین‌کننده چهار برای خرید مابقی کالاها به محل تامین کننده سوم می‌رود و ردیف ۲۶ مسیر بازگشت او در دوره‌های سوم و چهارم را نشان می‌دهد. برای وسیله ۶ در ردیف‌های ۱۷،۲۵ و ۲۷ نیز این چنین است.

جدول ۲. قیمت پیشنهادی تامین‌کنندگان در هر دوره

تامین کننده	سطح تخفیف	دوره برنامه ریزی					
		اول	دوم	سوم	چهارم	پنجم	ششم
	اول	۸۰۰۰	۸۰۰۰	۷۰۰۰	۷۰۰۰	۵۵۰۰	۵۵۰۰
اول	دوم	۷۵۰۰	۷۵۰۰	۶۵۰۰	۶۵۰۰	۵۲۵۰	۵۲۵۰
	سوم	۷۲۵۰	۷۲۵۰	۶۲۵۰	۶۲۵۰	۵۰۰۰	۵۰۰۰
	اول	۷۰۰۰	۷۰۰۰	۸۰۰۰	۸۰۰۰	۶۰۰۰	۶۰۰۰
دوم	دوم	۶۵۰۰	۶۵۰۰	۷۵۰۰	۷۵۰۰	۵۷۵۰	۵۷۵۰
	سوم	۶۲۵۰	۶۲۵۰	۷۲۵۰	۷۲۵۰	۵۵۰۰	۵۵۰۰
	اول	۶۰۰۰	۶۰۰۰	۵۰۰۰	۵۰۰۰	۷۰۰۰	۷۰۰۰
سوم	دوم	۵۷۵۰	۵۷۵۰	۴۷۵۰	۴۷۵۰	۶۵۰۰	۶۵۰۰
	سوم	۵۵۰۰	۵۵۰۰	۴۵۰۰	۴۵۰۰	۶۲۵۰	۶۲۵۰
	اول	۵۵۰۰	۵۵۰۰	۵۵۰۰	۵۵۰۰	۵۰۰۰	۵۰۰۰
چهارم	دوم	۵۲۵۰	۵۲۵۰	۵۲۵۰	۵۰۰۰	۴۷۵۰	۴۷۵۰
	سوم	۵۰۰۰	۵۰۰۰	۵۰۰۰	۵۰۰۰	۴۵۰۰	۴۵۰۰
	اول	۵۰۰۰	۵۰۰۰	۶۰۰۰	۶۰۰۰	۸۰۰۰	۸۰۰۰
پنجم	دوم	۴۷۵۰	۴۷۵۰	۵۷۵۰	۵۷۵۰	۷۵۰۰	۷۵۰۰
	سوم	۴۵۰۰	۴۵۰۰	۵۵۰۰	۵۵۰۰	۷۲۵۰	۷۲۵۰

جدول ۳. فاصله (هزینه) تامین‌کنندگان از دپوی خریدار و یکدیگر

تامین کننده	دپو	اول	دوم	سوم	چهارم	پنجم
دپو	۰	۵۰۰۰۰	۷۵۰۰۰	۱۰۰۰۰۰	۱۲۵۰۰۰	۱۵۰۰۰۰
اول	۵۰۰۰۰	۰	۲۵۰۰۰۰	۲۰۰۰۰۰	۱۳۰۰۰۰	۱۰۰۰۰۰
دوم	۷۵۰۰۰	۲۵۰۰۰۰	۰	۱۶۰۰۰۰	۱۱۰۰۰۰	۸۰۰۰۰
سوم	۱۰۰۰۰۰	۲۰۰۰۰۰	۱۶۰۰۰۰	۰	۶۰۰۰۰	۵۵۰۰۰
چهارم	۱۲۵۰۰۰	۱۳۰۰۰۰	۱۱۰۰۰۰	۶۰۰۰۰	۰	۳۰۰۰۰
پنجم	۱۵۰۰۰۰	۱۰۰۰۰۰	۸۰۰۰۰	۵۵۰۰۰	۳۰۰۰۰	۰

جدول ۴. حداکثر ظرفیت تامین کنندگان در هر دوره

تامین کننده	اول	دوم	سوم	چهارم	پنجم	ششم
اول	۲۵۰	۲۵۰	۲۷۰	۲۷۰	۲۹۰	۲۹۰
دوم	۲۷۰	۲۷۰	۲۵۰	۲۵۰	۳۰۰	۳۰۰
سوم	۲۸۰	۲۸۰	۲۸۰	۲۸۰	۲۸۰	۲۸۰
چهارم	۲۹۰	۲۹۰	۲۹۰	۲۹۰	۲۷۰	۲۷۰
پنجم	۳۰۰	۳۰۰	۳۰۰	۳۰۰	۲۵۰	۲۵۰

جدول ۵. میزان سفارش از سطح تخفیف به هر تامین‌کننده در هر دوره (y_{imt})

تامین کننده	سطح تخفیف	دوره برنامه ریزی					
		اول	دوم	سوم	چهارم	پنجم	ششم
	اول						
	دوم						
اول	سوم					۲۹۰	۲۹۰
	اول						
	دوم						
دوم	سوم						
	اول						
	دوم						
سوم	سوم			۲۸۰	۲۸۰		
	اول						
	دوم						
چهارم	سوم	۲۹۰	۲۷۰	۲۹۰	۲۹۰	۲۷۰	۲۷۰
	اول						
	دوم						
پنجم	سوم	۳۰۰	۳۰۰				

جدول۶. نتایج عددی برای مثال اول

هزینه خرید	$1.3054*10^{8}$
هزینه حمل و نقل	$1.1020*10^{7}$
هزینه نگهداری و سفارش‌دهی	$5.08*10^{5}$
مجموع هزینه ها	$1.42068*10^{8}$

۵. طراحی الگوریتم پیشنهادی (روش حل)

بسیاری از مسائل بهینه‌سازی از جمله مسئله مورد بحث در این مقاله در زمره مسائل NP-hard محسوب می‌شوند. بنابراین استفاده از روش‌های دقیق برای حل آنها کارا نیست؛ زیرا نمی‌توان جواب بهینه را در زمانی معقول پیدا کرد. برای حل این دسته از مسائل از روش‌های دیگری همچون الگوریتم‌های ابتکاری و فرا ابتکاری استفاده می‌شود. طی سه دهه گذشته، روش‌های بهینه‌سازی تقریبی نوینی به وجود آمده‌اند که به دنبال ترکیب روش‌های ابتکاری پایه در سطحی بالاتر برای کاراتر کردن جستجو هستند. روش‌های فراابتکاری روش‌هایی عمومی هستند که می‌توانند بدون نیاز به

تغییر اساسی در طراحی، برای حل مسائل گوناگون به کار روند. الگوریتم تکاملی دیفرانسیلی(Differential Evolution) همانند سایر الگوریتم‌های تکاملی با جمعیتی از افراد سروکار دارد که این افراد در فضای ژنتیک همان کروموزوم‌ها و در فضای حل مسئله مقادیر برداری جواب هستند. این الگوریتم جز آن دسته از الگوریتم‌هایی است که با متغیرهای حقیقی کار می‌کنند.اولین گام در DE کد نمودن متغیرهای مسئله در قالب بردارها یا کروموزوم‌های حامل جواب می‌باشد، بر اساس این تعریف از متغیرها، می‌توان تابع برازندگی را با توجه به اهداف مسئله تعریف نمود.

۵-۱. ایجاد جواب اولیه

برای تولید جواب اولیه در این مقاله دو نوع ماتریس در نظر گرفته می‌شود که بیانگر نحوه نمایش جواب است. ماتریس اول ماتریس انتخاب تامین‌کننده است و وظیفه گزینش تامین‌کنندگان برای خرید کالا در هر دوره را بر عهده دارد. برای ایجاد این ماتریس در هر سطر بطور تصادفی اعداد صفر و یک تولید می‌کنیم. هر سطر این ماتریس نشان دهنده وسیله نقلیه انتخاب شده و هر ستون نشان دهنده تامین‌کننده‌ای است که آن وسیله نقلیه باید در دوره مورد نظر ملاقات کند. ماتریس دوم ماتریس موقعیت است. این ماتریس مسیر حرکت هر وسیله نقلیه یا ترتیب ملاقات تامین‌کنندگان و کالایی که باید توسط آنها خریداری شود را مشخص می‌کند.

جدول ۷. تعداد کالایی که در هر دوره با هر یک از وسایل نقلیه از هر تامین‌کننده خریداری می‌شود

ردیف			دروه برنامه ریزی					
			ششم	پنجم	چهارم	سوم	دوم	اول
۱	v 1	i 1	۹۰	۹۰				
۲	v 2	i 1	۹۰	۹۰				
۳	v 3	i 1	۲۰	۲۰				
۴	v 8	i 1	۹۰	۹۰				
۵	v 2	i 3				۹۰		
۶	v 3	i 3			۹۰	۹۰		
۷	v 4	i 3			۱۰	۱۰		
۸	v 5	i 3			۹۰			
۹	v 6	i 3			۹۰	۹۰		
۱۰	v 1	i 4				۹۰	۹۰	
۱۱	v 2	i 4					۹۰	
۱۲	v 3	i 4	۹۰	۹۰				
۱۳	v 4	i 4	۹۰		۲۰	۲۰	۹۰	۹۰
۱۴	v 5	i 4	۹۰		۹۰		۹۰	۹۰
۱۵	v 6	i 4	۲۰	۹۰			۹۰	۹۰
۱۶	v 7	i 4		۹۰				
۱۷	v 8	i 4			۹۰	۹۰		
۱۸	v 1	i 5	۹۰	۹۰				
۱۹	v 2	i 5	۹۰	۹۰				
۲۰	v 4	i 5		۳۰				
۲۱	v 6	i 5	۳۰					
۲۲	v 8	i 5	۹۰	۹۰				

ماتریس دوم با توجه به ماتریس اول ایجاد می‌شود. بدین صورت که درایه متناظر تامین‌کنندگانی که در ماتریس اول در هر دوره یک شده است در یک عدد تصادفی بین صفر و یک ضرب شده و در ماتریس دوم قرار می‌گیرد. برای روشن شدن موضوع یک مثال ارائه می‌شود. جداول (۹) و (۱۰) نحوه نمایش یک جواب اولیه را نشان می‌دهد. برای مثال در ماتریس انتخاب تامین‌کننده وسیله دوم در دوره اول مامور به خرید از تامین‌کنندگان دوم و چهارم شده است و با توجه به ماتریس موقعیت به اندازه ۶۸ درصد از ظرفیتش از تامین کننده دوم و مابقی را از چهارم خرید می‌کند.

۵-۲. عملگر جهش

الگوریتم تکاملی دیفرانسیلی نام خود را از عملگر جهش تفاضلی خویش گرفته‌است. وقتی جمعیت اولیه تولید گردید، DE نسل اول را جهش داده و جمعیتی به تعداد جمعیت نسل اولیه تولید می‌کند.

جدول ۸. مسیر حرکت وسایل نقلیه در هر دوره برنامه ریزی

ردیف				دوره برنامه ریزی					
	i	j	v	اول	دوم	سوم	چهارم	پنجم	ششم
۱	0	1	1					۱	۱

۲	0	1	2					۱		۱	
۳	0	1	3					۱		۱	
۴	0	1	7					۱		۱	
۵	0	1	8					۱		۱	
۶	0	3	2			۱					
۷	0	3	3			۱	۱				
۸	0	3	4			۱	۱				
۹	0	3	5				۱				
۱۰	0	3	6			۱	۱				
۱۱	0	4	1			۱	۱				
۱۲	0	4	1			۱	۱				
۱۳	0	4	2				۱				
۱۴	0	4	3	۱	۱						
۱۵	0	4	4	۱		۱	۱	۱		۱	
۱۶	0	4	5	۱		۱		۱		۱	
۱۷	0	4	6	۱	۱			۱		۱	
۱۸	0	4	7		۱						
۱۹	0	4	8			۱	۱				
۲۰	0	5	1	۱	۱						
۲۱	0	5	2	۱	۱						
۲۲	0	5	4		۱						
۲۳	0	5	8	۱	۱						
۲۴	4	3	4			۱	۱				
۲۵	4	5	6	۱							
۲۶	3	0	4			۱	۱				
۲۷	5	0	6	۱							

در الگوریتم کدنویسی شده در این مقاله اندازه جمعیت برای مسائل با اندازه کوچک ۵۰ و مسائل با اندازه بزرگ ۱۱۰ در نظرگرفته شده است. در واقع جهش تفاضلی نسبتی از تفاضل دو بردار جواب (بردار اول و دوم) را به یک بردار پایه (بردار سوم) اضافه می کند. رابطه زیر نحوه جهش را در الگوریتم نشان می دهد:

$$V_{i,g} = x_{r0,g} + F.\left(x_{r1,g} - x_{r2,g}\right)$$

فاکتور جهش در DE که همان F می‌باشد عددی بزرگتر از صفر و نزدیک به یک می‌باشد که نسبت سهم بردار تفاضلی در تولید نسل جدید را کنترل می کند. بردار پایه x_{r0} می‌تواند از روش های مختلفی انتخاب گردد مانند روش تصادفی، بهترین جواب نسل و ... . بردارهای اول و دوم تفاضلی نیز تصادفی از بین بردارهای نسل انتخاب می‌شوند.

۵-۳. عملیات جایجایی

عملیات جابجایی در DE به منظور ایجاد جمعیت فرزند از جمعیت آزمایشی به کار می‌رود، دو نوع جابجایی بینم و نمایی در این الگوریتم وجود دارند. جابجایی بینم یکسری آزمایش‌های مستقل برنولی است که طی آن جمعیت فرزند از جمعیت آزمایشی به‌وجود می‌آید. عملیات جابجایی در واقع تنوع جمعیت را که پس از عملیات جهش بوجود آمده‌است را کنترل می‌کند. عملگر جهش مطابق با رابطه زیر اعضا جمعیت فرزند، U، را به صورت احتمالی انتخاب می‌نماید.

$$\boldsymbol{u_{i,j}} = \begin{cases} \boldsymbol{v_{i,j}} & \boldsymbol{if\ rand_j[0,1] < CR \quad j = k} \\ \boldsymbol{x_{i,j}^{(G)}} & \boldsymbol{Otherwise} \end{cases}$$

$$k = Int(rand(0,1) \times D) + 1 \ , CR \in [0,1]$$

جدول ۹. ماتریس انتخاب تامین‌کننده

		i1	i2	i3	i4	i5
t1	v1	۰	۰	۱	۰	۰
	v2	۰	۱	۰	۱	۰
	v3	۰	۰	۱	۰	۰
	v4	۰	۰	۰	۰	۰
t2	v1	۰	۰	۰	۰	۱
	v2	۱	۰	۰	۱	۰
	v3	۱	۰	۰	۰	۰
	v4	۰	۰	۱	۰	۰

جدول ۱۰. ماتریس موقعیت

		i1	i2	i3	i4	i5
t1	v1	۰	۰	.۱۵	۰	۰
	v2	۰	۶۸.	۰	.۳۲	۰
	v3	۰	۰	.۴۳	۰	۰
	v4	۰	۰	۰	۰	۰
t2	v1	۰	۰	۰	۰	.۷
	v2	.۹۱	۰	۰	.۰۸	۰
	v3	.۸۱	۰	۰	۰	۰
	v4	۰	۰	.۴۶	۰	۰

در رابطه فوق $u_{i,j}$ ، jامین عضو از بردار فرزند iام خواهد بود، $v_{i,j}$ ، jامین عضو از بردار آزمایشی iام و $x_{i,j}^{(G)}$نیز j امین عضو از بردار هدف iام است و $rand_j[0,1]$ عددی تصادفی در بازه [۰و۱] و CR پارامتر ثابت جابجایی است. برای مثال در کدنویسی صورت گرفته این پارامتر برای مسائل با اندازه کوچک ۲. لحاظ شده است. استفاده از اندیس تصادفی k برای اعضا بردار آزمایشی به این دلیل است که حتما یک عضو از بردار آزمایشی به جمعیت فرزند راه پیدا نماید.

۵-۴. فرایند انتخاب

با توجه به آنکه مسئله، حداقل‌سازی است، بر اساس جمعیت فعلی $P^{(G)}$ و جمعیت موقت که آرایه‌ای از بردارهای آزمایشی می‌باشد، جمعیت نسل بعدی $P^{(G+1)}$ طبق رابطه زیر ایجاد می‌شود.

$$X_i^{(G+1)} = \begin{cases} U_i & if\ F(U_i) \le F(X_i^{(G)}) \\ X_i^{(G)} & Otherwise \end{cases}$$

در رابطه فوق، $X_i^{(G+1)}$ بردار iام در نسل بعدی است، U_i بردار فرزند و $X_i^{(G)}$ بردار والد در جمعیت فعلی است. طبق این رابطه هر بردار از جمعیت موقت یا آزمایشی با بردار متناظر در جمعیت فعلی مقایسه می‌شود، افراد (بردار) با برازش بهتر (تابع هزینه کمتر) به جمعیت نسل بعد انتقال می‌یابد. در نتیجه، افراد در نسل بعدی حداقل به خوبی و یا بهتر از نسل فعلی خواهند بود. از این رویکرد معمولا به عنوان یک انتخاب تورنمنت یاد می‌شود. مزیت اصلی این استراتژی این است که با ممانعت از انتقال بردار والد و فرزند به صورت همزمان به نسل بعد از کم شدن تنوع جمعیت جلوگیری می‌نماید [۳۴].

۵-۵. تنظیم پارامترها

همانگونه که واضح است، کارایی یک الگوریتم به شدت به پارامترهای آن وابسته است به گونه‌ای پارامترهای مختلف ممکن است جواب‌های کاملاً متفاوتی با کیفیت‌های متفاوت تولید کنند. جهت تنظیم‌کردن پارامترهای الگوریتم پیشنهادی در این مقاله، مسایل را به دو دسته مسایل با سایز بالا و مسایل با سایز کوچک تقسیم کرده و برای هریک از دسته مسایل، بهترین مجموعه پارامترها را تخمین می‌زنیم. در این مقاله، برای تنظیم پارامترها از روش سطوح پاسخ (Response Surface Methodology) استفاده شده است. در جدول (۱۱) ابعاد مسائل تعریف شده برای بررسی قدرت و سرعت الگوریتم پیشنهادی برای حل مدل ارائه میشود. جدول (۱۲) سطوح بالا و پایین پارامترهای الگوریتم تکاملی کدنویسی شده را نشان می‌دهد. جدول (۱۳) به مقایسه جواب های حاصل در ابعاد کوچک مسأله را نشان می‌دهد. هدف از مقایسه جواب های دو روش DE و GAMS در بعد کوچک، ارزیابی توانایی DE در رسیدن به جواب‌بهینه یا نزدیک به بهینه است. همانطور که مشاهده می‌شود در مسائل ۱ تا ۵، جواب‌های DE کاملا منطق بر جواب‌های بهینه GAMS است و تنها در دو مورد یعنی مسأله ۶ با ۱.۲و مسأله ۷ با حداکثر ۴.۳ اختلاف از جواب بهینه به جواب نزدیک به بهینه دست یافته است.

جدول (۱۴) جواب های حاصل از حل مسأله در ابعاد بزرگ و متوسط را نمایش می‌دهد. هدف از مقایسه دو الگوریتم DE و GAMS در بعد متوسط و بزرگ، نشان دادن توانایی DE در رسیدن به جواب‌های بهینه/نزدیک بهینه و عدم توانایی روش‌های حل دقیق در این امر است. با توجه به نتایج جدول (۱۳) مشاهده می‌شود که در بعد متوسط و بزرگ نرم افزار GAMS حتی توانایی رسیدن به یک جواب اولیه شدنی در زمان محاسباتی تعیین شده (۳۶۰۰ ثانیه) را ندارد. با توجه به نتایج ابعاد مختلف، می‌توان چنین استنباط کرد که DE در حل مسائل با ابعاد مختلف کارا است.

جدول ۱۱. مقادیر پارامترهای مدل با توجه به ابعاد مسئله

Problem No.	Supplier No.	Vehicle No.	Price Levels	Period No.
1	4	5	3	3
2	6	5	3	3
3	6	7	3	3
4	8	7	3	4
5	8	7	3	4
6	10	7	3	4
7	10	8	3	6
8	15	8	3	6
9	15	8	4	6
10	20	8	4	8
11	20	8	4	8
12	25	10	3	8
13	25	10	3	8
14	25	10	4	10
15	25	12	4	10
16	30	12	4	8
17	30	15	4	10
18	30	15	3	6
19	35	15	3	8
20	35	18	4	8
21	35	18	4	10
22	40	18	4	10
23	40	20	4	10
24	45	20	4	12
25	45	22	4	12
26	50	25	4	12
27	50	25	4	14
28	70	30	5	14
29	90	38	5	16
30	120	50	5	16

جدول ۱۳. مقایسه الگوریتم تکاملی با GAMS

Problem	GAMS		DE			
	Obj	Tim	Obj	Tim	Std	Gap

No.	(10^8)	e	(10^8)	e		
1	12.3	85	12.30	37	29.4	0.00
2	14.5	126	14.50	41	33.1	0.00
3	15.6	246	15.6	45	39.2	0.00
4	17.2	471	17.2	52	42.7	0.00
5	21.4	893	21.4	63	51.5	0.00
6	36.1	1702	36.56	86	60.5	1.2
7	44.4	3572	46.32	95	57.8	4.3

جدول ۱۴. نتایج حاصل از DE

Problem No.	DE			
	Obj (10^8)	Time	Std	Gap
6	36.56	86	60.5	1.2
7	46.32	95	57.8	4.3
8	58.17	135	55.5	-
9	73.03	159	61.2	-
10	87.29	163	63.8	-
11	114.87	189	69.8	-
12	118.14	201	68.4	-
13	131.91	203	67.1	-
14	137.40	199	69.8	-
15	145.00	208	71.3	-
16	156.20	221	72.2	-
17	203.86	243	70.5	-
18	213.26	252	71.3	-
19	230.64	279	72.7	-
20	256.4	281	70.9	-
21	269.60	280	74.1	-
22	290.38	310	77.1	-
23	318.66	315	75.4	-
24	337.15	394	78.8	-
25	376.20	390	70.4	-
26	406.72	479	72.9	-
27	451.78	483	73.6	-
28	548.88	580	76.5	-
29	686.25	693	81.4	-
30	1023.33	813	85.9	-

جدول ۱۲. جدول پارامترهای تنظیم شده در الگوریتم تکاملی

	Parameters size									
Factor	Small MaxIter	Large MaxIter	Small pCrossover	Large pCrossover	Small pMutation	Large pMutation	Small nMove	Large nMove	Small PopSize	Large PopSize
Tuned Value	100	220	0.5	0.6	10	15	14	22	50	110

۶. نتیجه گیری و تحقیقات آتی

مسأله خریدار دوره گرد حالت خاصی از مسأله فروشنده دوره گرد است که کاربردهای زیادی در دنیای واقعی دارد ولی متاسفانه تاکنون در کشور ما توجهی به آن نشده است. در این مقاله با استفاده از TPP به ارائه مدلی جدید برای تعیین اندازه انباشته اقتصادی پرداختیم که در آن هزینه حمل و نقل به صورت فاصله تامین‌کنندگان از یکدیگر و با توجه به ظرفیت و هزینه راه اندازی وسایل نقلیه اندازه گیری می‌شود. این مدل قادر است مسیر بهینه وسایل نقلیه را نیز در هر دوره برای خرید کالا از تامین‌کنندگان تعیین کند که کاری جدید است و تا قبل از این به این شکل انجام نشده است. در این مدل تامین‌کنندگان برای ترغیب خریدار به خرید بیشتر تخفیف نیز ارائه می‌کنند. یکی از بخش های دشوار مدل‌سازی مسأله در مقید کردن خرید از یک سطح تخفیف با توجه به تعداد کالایی که با وسایل نقلیه مختلف از هر تامین‌کننده خریداری می‌شود می‌باشد. تابع هدف شامل هزینه‌های خرید (با توجه به تخفیف پیشنهادی)، حمل و نقل و نگهداری کالا در انبار است.

نتایج نشان می‌دهد کمترین هزینه زمانی حاصل می‌شود که به طور همزمان هر سه تابع هدف مورد توجه قرار می‌گیرد. بیشترین هزینه زمانی است که تصمیم‌گیرنده به هزینه حمل و نقل بی توجه است. این اشتباه می‌تواند حدود ۴۷ درصد بیشتر هزینه نسبت به زمانی که همه توابع هدف به صورت همزمان لحاظ می‌شود به خریدار تحمیل کند. همچنین به دلیل پیچیدگی محاسباتی بالای مدل حاصله و با توجه به اینکه مدل ارائه شده جزء مسائل NP-hard دسته بندی می‌شود یک الگوریتم تکامل تفاضلی برای حل مدل پیشنهاد و کارایی آن با توجه به معیارهای سرعت و کیفیت (از طریق مقایسه آن با روش‌های حل دقیق) آزمون شد. نتایج بدست آمده نشان داد که الگوریتم پیشنهادی تنها در دو مورد از مقدار بهینه مسأله حداکثر ۴.۳ درصد انحراف دارد و

در بقیه موارد (که در آن‌ها جواب دقیق مسأله وجود داشته) توانایی دست یافتن به جواب‌های بهینه مسأله را دارد. به دلیل شکاف تحقیقاتی در حوزه مسیریابی و تعیین اندازه انباشته و همچنین کاربردی بودن مدل ارائه شده در این مقاله می‌توان این زمینه را موضوعی مناسب برای تحقیقات آتی دانست. این مقاله به دلیل ابعاد مسئله و دشواری مدل‌سازی و محاسبات کاستی‌هایی دارد و جنبه‌هایی از دنیای واقعی در آن لحاظ نشده است. کاهش تعداد تامین‌کنندگان می‌تواند باعث کاهش هزینه‌های تامین شود ولی از طرفی این سیاست باعث افزایش ریسک تامین قطعات در زمان مناسب و با کیفیت مناسب می‌شود. بنابراین ارائه مدلی که هدف آن یافتن نقطه بهینه‌ای از تعداد تامین‌کننده هر محصول برای کاهش ریسک تامین قطعات و در عین حال بهینه نگاه داشتن هزینه‌های تامین قطعات باشد نیاز است. اهداف دیگری مانند سطح سرویس دهی تامین‌کنندگان، مد نظر قرار دادن بعد زمان علاوه بر فاصله تامین‌کنندگان و اهداف دیگر که در تعارض با یکدیگر هستند در مدل ارائه شده وجود ندارد که به عنوان زمینه‌ای برای تحقیقات آتی می‌توان مسئله را به صورت چند هدفه مدل سازی کرد.

مراجع

[۱] آذر، عادل، علی محمدلو، مسلم، طراحی مدل ریاضی مدیریت موجودی در زنجیره تأمین، فصلنامه مدرس علوم انسانی، (۱۳۸۶)، شماره ۱۱، صفحه ۱-۲۸.

[2] Pear W L., Chien R C., "improved solutions for the traveling Purchser Problem", Computer & Operation Research, (1998), Vol. 25, No. 11, pp. 879-885.

[3] Teeninga A., Volgenant A., "Improved heuristics for the traveling purchaser problem", Computers & Operations Research, (2004), Vol. 31, No. 1, pp. 139–150.

[4] Ustun O., Demirtas E A., "An integrated multi-objective decision-making process for multi-period lot-sizing with supplier selection", Omega, (2008), Vol. 36, No. 4, pp. 509–521.

[5] Demirtas E A., Ustun O., "Analytic network process and multi-period goal programming integration in purchasing decisions", Computers & Industrial Engineering, (2009), Vol. 56, No. 2, pp. 677–690.

[6] Tsao Y C., Lu J C., "A supply chain network design considering transportation cost discounts", Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review, (2012), Vol. 2, No. 2, pp. 401–414.

[7] Darwish MA., "Joint determination of order quantity and reorder point of continuous review model under quantity and freight rate discounts", Computers & Operations Research, (2008), Vol. 35, No. 12, pp. 3902–3917.

[8] Dahel N E., "Vendor selection and order quantity allocation in volume discount environments", International Journal of Supply Chain Management, (2003), Vol. 8, No. 4, pp. 335-342.

[9] Mousavi S M., Hajipour H., Akhavan Niaki S T., Aalikar N., "A multi-product multi-period inventory control problem under inflation and discount: a parameter-tuned particle swarm optimization algorithm", International Journal of Advanced Manufacturing Technology, (2013), Vol. 70, Nos. 9-12, pp. 1739-1756.

[10] Mendoza A., Ventura J A., "Modeling actual transportation costs in supplier selection and order quantity allocation decisions", Operational Research, (2013), Vol. 13, No. 1, pp. 5–25.

[۱۱]جبل عاملی،محمدسعید،بزرگی امیری، علی، حیدری، مهدی. ارائه مدل برنامه ریزی امکانی چندهدفه برای مسأله لجستیک امداد. نشریه بین المللی مهندسی صنایع و مدیریت تولید، بهار۹۰، شماره۱، صفحه ۶۶-۷۶.

[۱۲]ستاک، مصطفی، شریفی، سمانه. یک مدل ریاضی یکپارچه برای انتخاب تامین‌کنندگان دولایه از زنجیر تامین. نشریه بین المللی مهندسی صنایع و مدیریت تولید، بهار۹۰، شماره۱، صفحه ۹۲-۹۸.

[۱۳]نخعی، عیسی، میهمی، رضا. قیمت گذاری و کنترل موجودی به صورت توأم برای کالاهای فاسدشدنی با درنظرگرفتن هزینه کمبود به صورت پس افت پاره‌ای. نشریه بین المللی مهندسی صنایع و مدیریت تولید، زمستان ۸۹، شماره۴، صفحه ۱۶۸-۱۷۷.

[14] Lee A H I., Kang H-Y., Lai C-M., Hong W-Y., "Solving lot-sizing problem with quantity discount and transportation cost, International Journal of Systems Science", (2013), Vol. 44, No. 4, pp. 760-774.

[15] Lee A H I., Kang H-Y., Lai C-M., Hong W-Y., "An integrated model for lot sizing with supplier selection and quantity discounts", Applied Mathematical Modelling, (2013), Vol. 37, No. 7, pp. 4733-4746.

[16] Mansini R., Savelsbergh M W P., Tocchella B., "The supplier selection problem with quantity discounts and truckload shipping", OMEGA, (2012), Vol. 40, No. 4, pp. 445-455.

[17] Goldbarg M C., Bagi L B., Goldbarg E F., "Transgenetic algorithm for the Traveling Purchaser Problem", European Journal of Operational Research, (2009), Vol. 199, No. 1, pp. 36–45.

[18] Ramesh T., "Traveling purchaser problem", Operation Research, (1981), Vol. 18, Nos. 1-3, pp. 78–91.

[19] Teeninga A., Volgenant A., "Improved heuristics for the traveling purchaser problem", Computers & Operations Research, (2004), Vol. 31, No. 1, pp. 139–150.

[20] Voß S., "Dynamic tabu search strategies for the traveling purchaser problem", Annals of Operations Research, (1996), Vol. 63, No. 2, pp. 253–275.

[21] Singh K N., Oudheusden D L., "A branch and bound algorithm for the traveling purchaser Problem", European Journal of Operational Research, (1997), Vol. 97, No. 3, pp. 571-579.

[22] Laporte G., Ledesma J R., Gon S., "A branch and cut algorithm for the undirected traveling purchaser problem", Operations Research, (2003), Vol. 51, No. 6, pp. 142–152.

[23] Boctor F F., Laportec G., Renaud J., "Heuristics for the traveling purchaser problem", Computers & Operations Research, (2003), Vol. 30, No. 4, pp. 491–504.

[24] Teeninga, A., Volgenant A., "Improved heuristics for the traveling purchaser problem", Computers & Operations Research, (2004), Vol. 31, No. 1, pp. 139–150.

[25] Ledesma J R., Gonzalez J J-S., "A heuristic approach for the Travelling Purchaser Problem", European Journal of Operational Research, (2005), Vol. 162, No. 1, pp. 142–152.

[26] Ledesma J R., Gonzalez J S., "The biobjective travelling purchaser problem", European Journal of Operational Research, (2005), Vol. 160, No. 3, pp. 599–613.

[27] Bontoux B., Feillet D., "Ant colony optimization for the traveling purchaser problem", Computers & Operations Research, (2008), Vol. 35, No. 2, pp. 628 – 637.

[28] Angelelli E., Mansin R., Vindigni M., "Look- a head heuristics for the dynamic traveling purchaser problem", Computers & Operations Research, (2011), Vol. 38, No. 12, pp. 1867–1876.

[29] Mansini R., Tocchella B., "The traveling purchaser problem with budget constraint", Computers & Operations Research, (2009), Vol. 36, No. 7, pp. 2263-2274.

[30] Kang S., Ouyang Y., "The traveling purchaser problem with stochastic prices: Exact and approximate algorithms", European Journal of Operational Research, (2011), Vol. 209, No. 3, pp. 265–272.

[31] Gouveia L., Paias A., Voß S., "Models for a traveling purchaser problem with additional side – constraints", Computers & Operations Research, (2011), Vol. 38, No. 2, pp. 550–558.

[32] Angelelli E., Mansin R., Vindigni M., "Look- a head heuristics for the dynamic traveling purchaser problem", Computers &

Operations Research, (2011).Vol. 38, No. 12, pp. 1867–1876.

[33] Ledesma J R., Salazar J J., lez G., "Solving school bus routing using the multiple vehicle traveling purchaser problem: A branch–and–cut approach" Computers & Operations Research, (2012), Vol.39, No. 2, pp. 391–404.

[34] Bargey J D., Ragsdaleb C., "Modified differential evolution: A greedy random strategy for genetic recombination", Management Science, Vol. 33, No. 3. pp. 255-265.