Journal of Soft Computing and Information Technology (JSCIT)
Babol Noshirvani University of Technology, Babol, Iran
Journal Homepage: jscit.nit.ac.ir
Volume 8, Number 4, Winter 2019, pp. 44-58
Received: 02/04/2018, Revised: 01/18/2019, Accepted: 08/07/2019

A Dynamic Distribution Model in Cold Supply Chains Using Ant Colony Optimization

Benyamin Khanmohammadzadeh Seresti[1], Mojtaba Shakeri[2*] and Parvin Nikbakht[3]
1- Faculty of Computer and Information Technology Engineering, Islamic Azad University, Qazvin Branch, Qazvin, Iran.
2*- Computer Engineering Department, Faculty of Engineering, University of Guilan, Rasht, Iran.
3- Faculty of Computer and Information Technology Engineering, Islamic Azad University, Qazvin Branch, Qazvin, Iran.
[1]kmzs.benyamin@gmail.com, [2*]shakeri@guilan.ac.ir, and [3]nikbakht.parvin@golrang.com

Corresponding author's address: Mojtaba Shakeri, Computer Engineering Department, Faculty of Engineering, University of Guilan, Persian Gulf Highway, Rasht, Guilan Province, Iran, Postal Code: 4199613776

Abstract- In today's competitive world, reducing the distribution costs is an important issue that lies in the forefront of industry managers' thinking. A large percentage of the overall price of a given product belongs to distribution costs. Accordingly, eliminating unnecessary trips and optimizing traversed routes are considered to be one of the ideal solutions to reduce distribution costs. The aim of this study is to develop a dynamic distribution model in cold supply chains of dairy products by using an enhanced hybrid metaheuristic approach based on ant colony optimization. The proposed distribution model is defined according to the capacitated vehicle routing problem (CVRP) where vehicles' routes are not specified for the distribution of dairy products and depending on the volume of orders requested by each trailer on a given day, the minimum number of vehicles along with optimal distribution routes are determined. We assess the efficiency of our proposed distribution model by generating some test data inspired by the data collected from Qazvin Pegah Dairy Company in five different levels of distribution. The evaluation criterion is compared with the results of the current static distribution system. The experimental results indicate that the proposed dynamic distribution model exhibits more efficiency and flexibility than the static distribution system in terms of transportation costs, manpower and handling costs due to fewer number of vehicles employed, shorter mileage traversed and less fuel consumed.

Keywords- Cold supply chain, dynamic distribution model, capacitated vehicle routing problem, ant colony optimization.

مجله علمی پژوهشی رایانش نرم و فن‌آوری اطلاعات
دانشگاه صنعتی نوشیروانی بابل
صفحه مجله: jscit.nit.ac.ir
جلد ۸، شماره ۴، زمستان ۱۳۹۸، صفحه ۵۸-۴۴
دریافت: ۱۳۹۶/۱۱/۱۵ بازنگری: ۱۳۹۷/۱۰/۲۸ پذیرش: ۱۳۹۸/۰۵/۱۶

یک مدل توزیع پویا در زنجیره های عرضه سرد با استفاده از الگوریتم بهینه سازی کلونی مورچه (مطالعه موردی: پگاه قزوین)

بنیامین خان محمد زاده سرستی[۱]، مجتبی شاکری*[۲]، پروین نیکبخت[۳]
۱- دانشکده مهندسی کامپیوتر و فن آوری اطلاعات، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد قزوین، قزوین، ایران.
*۲- گروه مهندسی کامپیوتر، دانشکده فنی، دانشگاه گیلان، رشت، ایران.
۳- دانشکده مهندسی کامپیوتر و فن آوری اطلاعات، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد قزوین، قزوین، ایران.
[1]kmzs.benyamin@gmail.com, [2*]shakeri@guilan.ac.ir, [3]nikbakht.parvin@golrang.com

* نشانی نویسنده مسئول: مجتبی شاکری، رشت، بزرگراه خلیج فارس، دانشگاه گیلان، دانشکده فنی.

چکیده- در دنیای رقابتی امروز کاهش هزینه‌های توزیع از جمله موارد مهمی ا ست که در سرلوحه تفکرات مدیران صنایع قرار گرفته است. درصد زیادی از قیمت تمام‌شده یک محصول متعلق به هزینه‌های توزیع آنست. بنابراین حذف مسافت‌های غیرضروری و بهینه سازی م سیرهای طی شده به‌عنوان یکی از راه‌حل‌های مطلوب برای کاهش هزینه‌های توزیع شناخته شده ا ست. هدف از این مطالعه، ارائه‌ی یک مدل توزیع پویا در یک زنجیره عر ضه سرد مواد لبنی با ا ستفاده از یک روش ترکیبی ا صلاحی فراابتکاری مبتنی بر بهینه سازی کلونی مورچه است. مدل توزیع پیشنهادی بر پایه مساله مسیریابی وسیله نقلیه ظرفیت دار (CVRP) تعریف می شود که در آن، مسیرهای و سایل نقلیه برای توزیع مواد لبنی از قبل مشخص نیست و با توجه به حجم سفارش‌های مربوط به آن روز تو سط هر خرده‌فروش، تعداد و سایل نقلیه کمینه همراه با مسیرهای بهینه توزیع مشخص می‌گردد. ارزیابی کارآیی مدل توزیع پیشنهادی بر پایه مجموعه دادگان تستی که با الهام از داده‌های جمع‌آوری شده از شرکت لبنی پگاه قزوین تولید شده است در پنج سطح متفاوت توزیع انجام گرفته است. معیار ارزیابی، مقایسه با نتایج سیستم توزیع ایستای کنونی در نظر گرفته شده است. نتایج آزمایش‌ها نشان می‌دهد که مدل توزیع پویای پیشنهادی به دلیل کاهش قابل محسوس تعداد وسایل نقلیه بکار گرفته شده، مسافت طی شده کوتاه تر و مصرف سوخت کم تر، باعث صرفه‌جویی در هزینه‌های حمل‌ونقل، نیروی انسانی و هندلینگ شده و کارایی و انعطاف‌پذیری بیشتری نسبت به سیستم توزیع ایستا دارد.

واژه‌های کلیدی: زنجیره عرضه سرد، مدل توزیع پویا، مسأله مسیریابی وسیله نقلیه ظرفیت دار، بهینه سازی کلونی مورچه.

۱- مقدمه

در دنیای رقابتی امروز کاهش هزینه‌های تولید و بهبود بهره‌وری ازجمله مواردی هستند که در سرلوحه تفکرات و سیاست‌های تولیدی مدیران صنایع قرار گرفته و هر شرکتی با تمهیدات گوناگون سعی در ارائه راه‌حل‌های مطلوب برای رفع نیازهای فوق دارد. موفقیت بسیاری از سازمان‌های خصوصی، دولتی و نظامی به توانایی آن‌ها در ارائه خروجی‌های مطلوب و محصولات بهتر و با هزینه پایین وابسته است. ارائه مطلوب این خروجی‌ها (هزینه، کیفیت، عملکرد، تحویل به‌موقع، انعطاف و نوآوری) به توانایی سازمان در اداره جریان مواد، اطلاعات و پول در داخل و خارج سازمان وابسته است. این جریان به‌عنوان زنجیره عرضه و شبکه‌های توزیع شناخته‌شده است.

افزایش جمعیت و گسترش شهرنشینی سبب به وجود آمدن مسائلی شده است که با زندگی روزمره گره خورده و حل کردن آن‌ها از اهمیت زیادی برخوردار است. لجستیک و زنجیره عرضه یکی از این

دسته مسائل است که امروزه در صنعت و خدمات دارای نقش کلیدی است و شامل مسائلی است که از ابتدای تولید یک کالا شروع می‌شود و تا رسیدن کالای مربوطه به دست مشتری ادامه می‌یابد. در این چرخه قیمت نهایی کالا بسیار اهمیت دارد زیرا قیمت مناسب یکی از مهم‌ترین فاکتورها برای فروش یک کالا است و سبب می‌گردد که اگر کالای مربوطه از کیفیت خوبی نیز برخوردار باشد سود بیشتری نصیب تولیدکننده آن شود؛ به‌عبارت‌دیگر هر چه هزینه نهایی یک کالا کاهش پیدا کند میزان رقابت‌پذیری شرکت در فروش کالا و ارائه خدمات بهتر به مشتری افزایش می‌یابد؛ بنابراین کاهش هزینه تمام‌شده یکی از مهم‌ترین عوامل برای سود بیشتر است. یکی از راه‌های کاهش هزینه کمینه کردن هزینه حمل‌ونقل آن است به‌طوری‌که بتوان با کمترین هزینه کالاها را از جایی به‌جای دیگر منتقل کرد. به همین خاطر امروزه اهمیت مسائل حمل‌ونقل بر کسی پوشیده نیست و کاربردهای واقعی آن در زندگی روزمره سبب شده است که محققان روزبه‌روز اهمیت بیشتری به آن داده و آن را از زوایای مختلف مورد بررسی قرار دهند. مسأله مسیریابی وسیله نقلیه ظرفیت دار (CVRP[1]) یکی از مسائل پرکاربرد در مسائل حمل‌ونقل بوده که به‌عنوان اساس یک مدل توزیع در زنجیره‌های عرضه شناخته شده است. در این مسأله تعدادی مشتری در یک منطقه جغرافیایی و به همراه یک انبار وجود دارند. به‌علاوه هر یک از مشتری‌ها به میزان خاصی کالا نیاز دارند که باید به‌وسیله ناوگانی ثابت از وسایل نقلیه به آن‌ها تحویل گردد.

برای توزیع محصولات تازه و فاسدشدنی به نوع خاصی از مدیریت زنجیره عرضه (SCM[2]) که مدیریت زنجیره سرد (CCM[3]) نامیده می‌شود، احتیاج است. مدیریت زنجیره سرد به ذخیره‌سازی و حمل‌ونقل انواع مواد لبنی تازه می‌پردازد. با توجه به ویژگی‌های محصولات فاسدشدنی حفظ کیفیت و تازگی محصول یکی از نگرانی‌های مهم مشتریان است که وابسته به مدت‌زمان تحویل و تغییر دما در داخل وسیله نقلیه است، بنابراین سیستم توزیع مناسب و مؤثر نه‌تنها باید به ارائه محصولات غذایی تازه و باکیفیت بپردازد بلکه باید سفارش‌ها را به‌موقع تحویل دهد.

در سیستم‌های توزیع سنتی مسیریابی وسیله نقلیه ظرفیت دار بدین‌صورت انجام می‌گیرد که به هر منطقه یک وسیله نقلیه مختص همان منطقه اختصاص داده می‌شود و آن وسیله نقلیه وظیفه دارد که فقط برای مشتریان همان منطقه سرویس‌دهی نماید. در این صورت ممکن است حجم سفارش‌های مختص به آن منطقه از ظرفیت وسیله نقلیه کمتر باشد و این باعث شود حداکثر استفاده از ظرفیت بارگیری ماشین حاصل نشود و نتیجتاً موجب افزایش هزینه حمل‌ونقل، نیروی انسانی و مجموعه‌ای از هزینه‌های ثابت می‌گردد. به عبارتی می‌توان تعداد مسیرهای بیشتری را با همان وسیله نقلیه با استفاده از سیستم توزیع پویا نسبت به سیستم توزیع ایستا پیمایش کرد. علاوه بر این سیستم حمل‌ونقل سنتی دارای نقاط ضعف بسیاری است. ازجمله مسیرهایی که توسط هر وسیله نقلیه باید در طول روز پیموده شود، از قبل مشخص و ثابت است. این موضوع انعطاف‌پذیری سیستم توزیع را به حداقل می‌رساند. همچنین ممکن است ظرفیت بارگیری وسیله نقلیه برای یک مسیر کامل نباشد ولی به دلیل ثابت بودن مسیرها امکان بارگیری سفارش‌های مربوط به مسیرهای دیگر وجود نداشته باشد، به همین علت از نیروی انسانی و وسایل نقلیه حداکثر استفاده را نمی‌توان برد و باعث افزایش هزینه‌های عملیاتی می‌شود. از طرفی با توجه به اینکه مسیرهای بهینه برای رساندن کالا به مشتریان انتخاب نمی‌شود و فقط از یک مسیر خاص استفاده می‌شود، باعث افزایش هزینه‌ی سوخت و حمل‌ونقل در این سیستم توزیع می‌شود.

طبق توضیحات ارائه‌شده‌ی فوق مسائلی که در زنجیره سرد برای سیستم توزیع سنتی با آن مواجه هستیم شامل موارد زیر است:

۱) عدم انعطاف خدمات توزیع در زنجیره سرد

۲) عدم استفاده از ظرفیت بارگیری وسایل نقلیه به‌صورت کامل

۳) افزایش هزینه‌ها شامل هزینه‌های توزیع و هندلینگ به دلیل زیاد بودن تعداد ماشین‌ها

۴) افزایش زمان هندلینگ و حمل‌ونقل

با توجه به مسائل بیان‌شده در این مطالعه، سؤال زیر به‌عنوان سؤال عمده مطالعه مطرح شده است:

آیا می‌توان با ارائه‌ی یک سیستم توزیع پویا مبتنی بر تکنیک‌های هوش مصنوعی (الگوریتم‌های فرا ابتکاری) باعث بهبود عملکرد یک سیستم توزیع سنتی در زنجیره‌های عرضه سرد از حیث کاهش زمان و هزینه‌های حمل‌ونقل و هندلینگ و نیز تسهیل خدمات آن به مشتریان شد؟

۱-۱- اهمیت و ضرورت موضوع

در سیستم‌های توزیع سنتی مسیریابی وسیله نقلیه ظرفیت دار ممکن است حجم سفارش‌های مختص به آن منطقه از ظرفیت وسیله نقلیه کمتر باشد و این باعث شود حداکثر استفاده از ظرفیت بارگیری ماشین حاصل نشود و نتیجتاً موجب افزایش هزینه حمل‌ونقل، نیروی انسانی و مجموعه‌ای از هزینه‌های ثابت می‌گردد.

با استفاده از یک سیستم توزیع پویا می‌توان از حداکثر ظرفیت

وسایل نقلیه استفاده کرد. همچنین چون مسیر حمل‌ونقل از قبل مشخص نیست، می‌توان بهترین مسیر را انتخاب کرد که منجر به کاهش تعداد وسایل نقلیه مورداستفاده می‌شود. همچنین مسافت پیموده شده توسط کل وسایل نقلیه مورداستفاده را کاهش داده و درنتیجه هزینه‌ی مصرف سوخت را کاهش می‌دهد.

درنهایت استفاده از این سیستم توزیع منجر به کاهش هزینه‌ها (شامل هزینه‌ی حمل‌ونقل، هزینه‌ی نیروی انسانی، هزینه‌ی هندلینگ و ...) می‌شود، همچنین باعث بهبود در عملکرد زنجیره سرد شده و خدمات توزیع در این زنجیره را آسان می‌کند.

۱-۲- اهداف کاربردی

با پیاده‌سازی این سیستم توزیع پویا، یک طرح شبکه توزیع مناسب شامل عواملی نظیر کاهش هزینه، ارزش‌افزوده بالاتر و افزایش سطح خدمت به مشتری و درنتیجه رضایت مشتری به وجود می‌آید. با توجه به توضیحات فوق اهداف کاربردی این مطالعه شامل موارد زیر است:

۱) ارتقای مدل‌های زنجیره سرد و بهبود عملکرد آن‌ها

۲) تسهیل خدمات توزیع در زنجیره سرد

۳) صرفه‌جویی در هزینه‌ها شامل هزینه‌های توزیع، هندلینگ و نیروی انسانی

۴) مقابله با چالش تحویل به‌موقع مواد لبنی

۵) انعطاف‌پذیری بیشتر برای ارائه خدمات به مشتریان

۶) رضایت مشتریان ناشی از دریافت به‌موقع مواد لبنی

۷) کاهش زمان هندلینگ و حمل‌ونقل

۸) افزایش سطوح خدمات به مشتریان

این رویکرد و مطالعه می‌تواند مورداستفاده‌ی سرمایه‌گذاران و تمامی ارائه‌دهندگان خدمات توزیع در زنجیره سرد به‌منظور کاهش هزینه‌ها، ارزش‌افزوده بالاتر و افزایش سطح خدمت به مشتری قرار گیرد.

۱-۳- فرض‌ها و فرضیه‌های تحقیق

بیان مسأله به‌صورت کلی باعث می‌شود که به‌صورت دقیق و جزئی به حل مسأله پرداخته نشود، پس باید مسأله را با در نظر گرفتن فرض‌هایی کوچک کرد؛ بنابراین فرض‌های این مطالعه به شرح زیر می‌باشند:

فرض‌ها:

فرض ۱: تعداد وسایل نقلیه برای تحویل مواد لبنی به مشتریان ثابت است.

فرض ۲: تعداد مشتریان یا خرده‌فروشان برای درخواست سفارش ثابت است.

فرض ۳: تمام وسایل نقلیه که از مرکز توزیع به سمت مشتریان حرکت می‌کنند باید بعد از اتمام سرویس به مشتریان به مرکز توزیع بازگردند.

فرض ۴: به ازای هر مسیر حداقل یک وسیله نقلیه برای خدمت به مشتریان وجود دارد و آن وسایل نقلیه فقط مختص به همان مسیر است.

ازآنجاکه هدف از ارائه‌ی مطالعه حاضر، طراحی یک مدل توزیع پویا در زنجیره های تامین سرد با استفاده از الگوریتم بهینه سازی کلونی مورچه است، در بخش دوم که مروری بر ادبیات گذشته است، کارهای مشابه مورد بررسی قرار می‌گیرد. در بخش سوم مورد مطالعاتی این پژوهش معرفی می گردد. در بخش چهارم به تشریح مدل پیشنهادی می پردازیم. در بخش پنجم، نتایج بدست آمده مورد تجزیه‌وتحلیل قرار می‌گیرد. در پایان، بخش ششم به نتیجه گیری و ارایه پیشنهاداتی برای تحقیقات آینده می پردازد.

۲- مرور ادبیات

مکانیزم توزیع در زنجیره سرد برای توزیع محصولات یخچالی تازه و وعده‌های غذایی آماده به دلایل متعددی از قبیل کاهش تعرفه‌ها، بهبود مستمر در حمل‌ونقل، پیشرفت در ارتباطات و فناوری اطلاعات و ارتقای سیستم‌های زنجیره سرد در حال گسترش است. همچنین آگاهی مصرف‌کنندگان از ایمنی مواد لبنی و مقررات ایمنی، نیروهای محرک اصلی در پس‌زمینه توسعه‌ی زنجیره سرد هستند. مطالعات زیادی در مورد بخش‌های مختلف زنجیره سرد و کیفیت و ایمنی مواد لبنی فاسدشدنی انجام شده است که در ادامه به بیان تعدادی از آن‌ها پرداخته می‌شود.

آرامیان و همکاران در سال ۲۰۰۷، شاخص‌های عملکردی برای زنجیره عرضه سرد که در آن شاخص‌های کمی و کیفی مانند رضایت مشتری و بازگشت سرمایه و ... ارائه شده است را موردمطالعه قرار داده‌اند [۱].

رونگ و گرونو در سال ۲۰۱۰ به بررسی مسأله مدیریت امنیت مواد لبنی پرداخته‌اند. ایده‌ی آن‌ها این است که هر چه دسته‌های تولید کوچک‌تر باشند، مشکلات ایمنی غذایی کاهش پیدا می‌کند اما از سوی دیگر بازده تولید هم کاهش می‌یابد [۲].

در مطالعه‌ای بروکمولن و همکاران در سال ۲۰۰۹، روی مدلی درباره بازپرسازی موجودی برای محصولات فاسدشدنی با توجه به ماندگاری آن تمرکز کرده‌اند [۳]. همچنین ماسون در سال ۲۰۰۸ روی طرح موجودی و انبار مراکز توزیع و استراتژی چیدمان در شبیه‌سازی تدارکات کار کرده است [۴].

۲-۱- مدل‌های توزیع در زنجیره سرد

بیشتر تحقیقات انجام‌شده در زنجیره سرد مربوط به مسأله ی توزیع در زنجیره سرد با استفاده از سیستم توزیع سنتی است که با کمک انواع الگوریتم‌های ابتکاری و فرا ابتکاری به حل این مسأله پرداخته‌اند که در ادامه به بررسی تعدادی از آن‌ها پرداخته می‌شود.

در مطالعه‌ای وندر ورست و همکاران در سال ۲۰۰۹، به معرفی یک محیط شبیه‌سازی جدید با هدف خاص برای حمایت از طراحی و طراحی مجدد زنجیره عرضه مواد لبنی پرداخته‌اند. آن‌ها تصریح کرده‌اند که طراحی شبکه‌های توزیع در زنجیره سرد به کیفیت خواسته‌شده توسط مشتری بستگی دارد. یک نمونه از محیط مدل‌سازی (که شامل ویژگی‌های خاص مواد لبنی مانند تغییر کیفیت محصول، کنترل شرایط دمایی انبارش و توزیع موجودی) را ایجاد کرده‌اند. نویسندگان همچنین به تجزیه‌وتحلیل دو شبکه توزیع ممکن طراحی‌شده با توجه به هزینه‌ها، کیفیت محصولات، انرژی استفاده شده و انتشار CO_2 برای شبکه توزیع آناناس پرداخته‌اند [۵].

همچنین بلک برن و اسکادر در سال ۲۰۰۹، به بررسی بخش توزیع و حمل‌ونقل در زنجیره عرضه محصولات تازه پرداخته‌اند و به این نتیجه رسیده‌اند که کیفیت محصولات تازه بعد از برداشت به‌صورت خطی روبه‌زوال است، همچنین به این نتیجه دست‌یافته‌اند که در زنجیره‌ی سرد نباید تمرکز اصلی روی پاسخ‌گویی سریع باشد چون به دلیل عدم رعایت شرایط خاص مربوط به نگهداری این محصولات، کیفیت و ارزش آن‌ها کاهش می‌یابد، به همین دلیل اعضای زنجیره می‌توانند روی بهره‌وری هزینه‌ها به‌جای پاسخگویی سریع تمرکز کنند [۶].

در مطالعه‌ای دیگر زانونی و زاوانلا در سال ۲۰۰۷ یک مدل MILP عمومی برای بدست آوردن تعداد تحویل‌ها و تعداد وسایل نقلیه برای حمل‌ونقل، تنها به یک مقصد واحد ارائه داده‌اند. در این مطالعه تنوع محصولات زیاد بوده است که هرکدام شرایط دمایی خاص خود را (سرد، فریزری و دمای محیط) دارند. تمرکز مدل ارائه‌شده روی مینیمم کردن هزینه‌ها است [۷].

همچنین تمرکز اهیومادا و ویلالیبس در سال ۲۰۰۹ روی انتخاب حالت‌های حمل‌ونقل بوده که به بررسی تولید و توزیع محصولات تازه‌ی بسته‌بندی‌شده پرداخته‌اند. بعد از بسته‌بندی محصولات نوع حمل‌ونقل (کامیون، راه‌آهن و یا هوایی) انتخاب می‌شود. نویسندگان همچنین در مدل ایجادشده زوال کیفیت محصول را هم ازنقطه‌نظر زمان ذخیره‌سازی محدود و هم کاهش ارزش محصول در طول زمان بررسی کرده‌اند، همچنین به محاسبه عمر مفید محصولات پرداخته‌اند. در این مطالعه محصولاتی اول از انبار برداشته می‌شوند که دوره‌ی زمانی بیشتری در انبار بوده‌اند [۸].

۲-۲- توزیع پویا در زنجیره عرضه

در سال‌های اخیر مطالعات به سمت سیستم توزیع پویا در زنجیره سرد سوق پیدا کرده است. سیستم توزیع پویا در ساده‌ترین حالت بر پایه مساله مسیریابی وسیله نقلیه ظرفیت دار مدل می‌شود که در ادامه به‌مرور تحقیقات انجام گرفته روی این مساله و کاربرد آن در سیستم توزیع زنجیره عرضه می‌پردازیم.

مسأله CVRP یا مسأله مسیریابی وسایل نقلیه ظرفیت دار و توسعه‌های آن یکی از مهم‌ترین و پرکاربردترین مسائل NP-hard معرفی شده است که به‌طور وسیع در حوزه بهینه‌سازی کاربرد دارد [۹]. بنابراین روش‌های حل این مسأله به‌طورکلی تغییر نمودند و به سمت روش‌های ابتکاری و فرا ابتکاری حرکت کردند. تنوع این‌گونه از مسائل آن‌قدر زیاد است که دسته‌بندی آن‌ها و بیان حالت‌های مختلفی که در آن رخ می‌دهد بسیار مشکل و زمان‌گیر است؛ بنابراین در ادامه به تعدادی مطالعه که به حل این مسأله با استفاده از الگوریتم‌های فرا ابتکاری می‌پردازد، اشاره شده است.

گاندی و همکاران در سال ۱۹۷۱، ساده‌ترین نسخه از مسأله CVRP را مسأله فروشنده دوره‌گرد (TSP[۴]) دانسته‌اند زیرا در این مسأله فرض بر این است که یک وسیله نقلیه با ظرفیت بی‌نهایت وجود دارد که باید تعدادی گره را پیمایش کرده و در انتها به محل شروع حرکت بازگردد [۱۱، ۱۰]. اگرچه مسأله TSP فقط یک حالت بسیار ساده از مسائل CVRP محسوب می‌شود اما روند و نتایج تحقیقات بر روی این مسأله مستقیماً بر روی مسائل CVRP تأثیر گذاشته است. باید توجه داشت که در ابتدا برای حل این مسأله روش‌های دقیق شامل برنامه‌ریزی صفر و یک و پویا پیشنهاد شدند .ارائه این روش‌ها و ارتقای آن‌ها ادامه داشت تا اینکه نظریه پیچیدگی محاسبات مطرح شد. این نظریه به این نکته اشاره داشت که مسأله TSP یک مسأله سخت محسوب می‌شود و روشی دقیق که بتواند در حالت کلی و در یک زمان قابل‌قبول به جواب بهینه برسد، وجود ندارد [۱۰].

در سال‌های اخیر برای حل مسأله VRP[۵] توجه بیشتری به استفاده از الگوریتم کلونی مورچگان شده است .این الگوریتم بعدها در سال

۲۰۰۲ توسط درنر و همکاران با ترکیب آن با روش ابتکاری بهبود داده شد .همچنین رِیمان در سال ۲۰۰۴، یک الگوریتم سیستم مورچه مبتنی بر تجزیه (D-Ants) را برای مسأله CVRP ارائه داد . در این الگوریتم مسأله به چندین زیرمسأله تجزیه شده و هر زیرمسأله با استفاده از سیستم کلونی مورچه مبتنی بر صرفه‌جویی حل شده است[۱۲].

در سال ۲۰۱۵، تیموریان و همکاران، مسأله مسیریابی وسایل نقلیه ظرفیت دار را مورد بررسی قرار دادند. برای حل این مسأله از چهار الگوریتم IIWD[۶]، ACS[۷]، LSHA[۸] و POHA[۹] استفاده کرده‌اند. در دو الگوریتم ACS و IIWD، ویژگی‌ها و تنظیمات جدیدی معرفی شده است که اثربخشی الگوریتم‌های پیشنهادی را برای بهینه‌سازی مسأله مسیریابی وسایل نقلیه ظرفیت دار بهبود می‌دهد. روش‌های ترکیبی LSHA و POHA، باعث ایجاد مزایای ACS و IIWD در کاوش فضای راه‌حل شده‌اند. این الگوریتم‌ها کنترل تعادل میان پویش و انتفاع فرآیند جستجو را افزایش می‌دهد. در این تحقیق به ارائه برخی آزمون‌های آماری برای مقایسه جامع بین الگوریتم متااکتشافی پیشنهادی و سایر الگوریتم‌ها پرداخته‌اند و نتایج نشان می‌دهد که الگوریتم ارائه‌شده به‌طور خاص بهترین راه‌حل را بهبود و تعداد وسایل نقلیه را کاهش داده است[۱۳].

در سال ۲۰۱۵ پدرو و همکاران، روی مسأله مسیریابی وسایل نقلیه ظرفیت دار با پنجره زمانی کار کرده‌اند. در این مقاله با ارائه یک سیستم بهینه به متحد کردن منابع سازمانی موجود بدون اختلال عمده برای فرآیند توزیع سنتی پرداخته شده است. سیستم پیشنهادشده شامل یک ماژول بهینه‌سازی مسیر، یک ماژول اجرای ارتباطات با خارج از سیستم، یک پایگاه داده‌ی غیر رابطه‌ای برای ذخیره‌سازی اطلاعات مربوط به روش‌های بهینه‌سازی و یک زیرسیستم وابسته به نقشه‌کشی است. معماری پیشنهادشده توانایی مواجه با مسأله های پویا در مشخصات پروژه را دارد[۱۴].

در سال ۲۰۱۵ سویسال و همکاران، مسأله مسیریابی وسایل نقلیه ظرفیت دار دو پله که وابسته به زمان هستند را موردمطالعه قرار دادند. آن‌ها همچنین ملاحظات زیست‌محیطی را در نظر گرفتند. در استراتژی توزیع چند پله، محموله به مشتریان با استفاده از انبارهای میانی به‌جای استفاده از حمل‌ونقل مستقیم تحویل داده می‌شود و یک استراتژی محبوب در لجستیک شهری است. این موضوع اولاً بر عملیات توزیع و کاهش عواقب زیست‌محیطی (مثل انرژی استفاده‌شده و ازدحام) و ثانیاً بر عواقب اجتماعی (مثل آلودگی هوای مربوط به ترافیک، تصادفات و سروصدا) تأثیرگذار است. این مقاله یک فرمولاسیون MILP جامع برای یک مسأله مسیریابی وسایل نقلیه ظرفیت دار دو پله با پنجره زمانی ارائه داده است که نوع وسیله نقلیه، فاصله حرکت، سرعت وسیله نقلیه، بارگیری و محدوده زمانی چندگانه را در نظر گرفته است. نتایج نشان می‌دهد که یک‌راه حل سازگار با محیط‌زیست، استفاده از سیستم توزیع دو پله به‌جای سیستم توزیع تک پله است که باعث کاهش هزینه‌های عملیاتی نیز می‌شود[۱۵].

در سال ۲۰۱۶ اکسپوسیتور و همکاران، برای حل مسأله مسیریابی وسایل نقلیه ظرفیت دار خوشه‌بندی‌شده، یک رویکرد راه‌حل دوسطحی ارائه دادند. مسأله مسیریابی وسایل نقلیه ظرفیت دار خوشه‌بندی‌شده با هدف تعیین مسیرها از ناوگان‌های وسایل نقلیه ظرفیت دار به دست مشتری است. معیار بهینه‌سازی مینیمم کردن هزینه‌های کلی مسیرها است. محدودیت اصلی این است که باید به تمام مشتریان موجود در یک خوشه با یک وسیله نقلیه ارائه خدمت شود. در این مطالعه یک فرمول ریاضی برای مسأله مسیریابی وسایل نقلیه ظرفیت دار خوشه‌بندی‌شده توسعه داده شده است. از آن جا که این مسأله یک مسأله NP-Hard است، یک رویکرد راه‌حل دوسطحی تقریبی پیشنهاد شده است. در این مطالعه مسأله به دو زیر مسأله مسیریابی تقسیم شده است. هدف اولین زیر مسأله تعیین مسیرهای هدفمند برای هر خوشه است که یک الگوریتم فوق ابتکاری برای حل این زیر مسأله ارائه شده است. علاوه بر این هدف دومین زیرمسأله کمک به پیدا کردن سفارش‌های برآورده شده مشتریان برای هر خوشه است. روش‌های دقیق و ترکیبی برای این زیر مسأله در نظر گرفته شده است. نتایج محاسباتی نشان می‌دهد که الگوریتم ارائه‌شده کارایی بالایی دارد[۱۶].

در سال ۲۰۱۵ چن و همکاران، یک الگوریتم رفت‌وبرگشت(SA[۱۰]) دومرحله‌ای ترکیبی را برای حل مسأله مسیریابی وسایل نقلیه ظرفیت دار استفاده کرده‌اند. در این تحقیق برای حل این مسأله از الگوریتم رفت‌وبرگشت دومرحله‌ای ترکیبی و جستجوی حریصانه استفاده شده است که هدف آن به حداقل رساندن هزینه‌های خدمت‌رسانی به همه‌ی مشتریان است. نتایج نشان می‌دهد که روش پیشنهادی مؤثر است و هزینه‌ها را کاهش می‌دهد[۱۷].

در سال ۲۰۱۵ ویدال، به بررسی یک الگوریتم دوبخشی O(n) برای مسأله مسیریابی وسایل نقلیه پرداخته است. هدف از حل این مسأله به حداقل رساندن هزینه‌های استفاده شده است. نتایج نشان می‌دهد که این الگوریتم و این رویکرد سریع‌تر از تقسیم کلاسیک برای نمونه مسأله عملی است[۱۸].

در سال ۲۰۱۵ لچفورد و همکاران، یک فرمولاسیون جریان چند کالایی قوی از مسأله مسیریابی وسایل نقلیه ظرفیت دار را ارائه

داده‌اند. در این مقاله دو فرمولاسیون جریان چند کالایی جدید ارائه شده است و نشان داده‌اند که فرمولاسیون جریان چند کالایی جدید به‌صورت قابل توجهی از انواع شناخته شده قبلی قوی‌تر است[۱۹].

در سال ۲۰۱۵ وی، به مسأله مسیریابی وسایل نقلیه ظرفیت دار با محدودیت بارگیری دوبعدی پرداخته است. در این تحقیق به ارائه برخی آزمون‌های آماری برای مقایسه جامع بین الگوریتم متااکتشافی پیشنهادی و سایر الگوریتم‌ها پرداخته‌اند. هدف از حل این مسأله به حداقل رساندن هزینه‌های استفاده شده است [۲۰].

آدام و همکاران در سال ۲۰۱۹ در مطالعه ای ۵ نقطه امن برای حل CVRP که در زمان چند جمله ای حل می شود ،در نظر گرفته اند که دو مورد آن جدید است . به علت اینکه CVRP یک مسأله ی NP-Hard است آن ها چند نقطه امن قدیمی و جدید درنظر گرفته اند که براساس نسل پایه یا column generation ایجاد و در زمان چندجمله ای حل می شود که قوی ترین آن در کرانه بسیار پایینی قرار دارد. آزمایشات محاسباتی در این مقاله نشان داده است که نقطه امن در مرزهای بسیار پایین تری قرار دارد[۲۱].

هنان و همکاران در سال ۲۰۱۸ در مطالعه ای با استفاده از الگوریتم کلونی مورچگان در مسئله مسیریابی وسایل نقلیه ظرفیت دار بهترین راه حل ها را برای جمع آوری زباله و بهینه سازی مسیر پیشنهاد دادند. که این مدل بهترین مجموع ضایعات و بهترین مسیر را از نظرفاصله سفر،کارایی،کاهش هزینه و کاهش سوخت نشان می دهد. مدل پیشنهادی بهینه شده می تواند به عنوان یک ابزار ارزشمند برای جمع آوری زباله و بهینه سازی مسیر در جهت کاهش اثرات اجتماعی و اقتصادی و زیست محیطی عمل کند[۲۲].

سانگ و همکاران در سال ۲۰۱۸ در مطالعه ای با بیان اینکه الگوریتم کلونی مورچگان دارای مزیت های خاصی در CVRP است همچنین اعلام کرده اند که این الگوریتم مستعد بهینه سازی محلی و مشکلات سرعت در جستجوی سریع است. آن ها برای حل این مشکل در این مقاله از یک الگوریتم بهینه سازی کلونی مورچه ترکیبی استفاده کرده اند که ترکیبی از الگوریتم GA (برای تنظیم ماتریس فرومون و طراحی یک استراتژی تنظیم میزان سرعت تبخیر فرومون) و استراتژی جستجوی محلی (برای کاهش محاسبات) است[۲۳].

دهانیا و همکاران در سال ۲۰۱۸ با استفاده از ترکیب الگوریتم جستجوی کلاغ ها (CSA) و الگوریتم کلونی مورچگان (ACO) به حل مشکل مسیریابی ظرفیت دار پرداخته اند که در آن از ACO که یک روش متاهیوریستیک است برای یافتن کوتاه ترین مسیر از مبدا به مقصد (با استفاده از مسیرهای فرومون) و همچنین از الگوریتم CSA نیز به عنوان یک روش متاهیوریستیک که از رفتار شکار برای غذای کلاغ ها الهام گرفته شده است، استفاده می کند

این مطالعه در شرایط پویا،نتایج محاسباتی را با زمان محاسباتی قابل قبول نشان می دهد و به طور عمده به دلیل افزایش تعداد مشتریان، فاصله مسیر بهینه افزایش می یابد[۲۴].

در مطالعه‌ای لرکی و همکاران در سال ۱۳۹۱ به بررسی حل مسأله مسیریابی وسیله نقلیه ظرفیت دار با استفاده از الگوریتم کلونی مورچگان و نسخه‌های توسعه‌یافته‌ی آن پرداخته‌اند. آنان به علت مشکلات موجود در نسخه‌های توسعه‌یافته قبلی به ارائه‌ی یک روش ترکیبی اصلاحی فراابتکاری برای حل مسئله مسیریابی وسیله نقلیه ظرفیت دار (الگوریتم کلونی مورچه اصلاحی) پرداخته‌اند. الگوریتم کلونی مورچه اصلاحی آخرین نسخه‌ی بهبودیافته از الگوریتم کلونی مورچگان است که بهترین پاسخ‌ها را نسبت به سایر نسخه‌ها برای حل مسأله مسیریابی وسایل نقلیه بدست می‌آورد[۲۵].

با بررسی تکنیک‌های حل پیشنهاد شده در کارهای قبلی، از الگوریتم کلونی مورچه اصلاحی به‌عنوان یکی از آخرین نسخه‌های بهبودیافته الگوریتم بهینه‌سازی کلونی مورچه برای حل مساله موردمطالعه این تحقیق استفاده خواهد شد.

۳- مطالعه موردی

با توجه به مشکلات موجود در سیستم توزیع ایستا در ادامه به تشریح مسائل و مشکلات موجود در سیستم توزیع فعلی و الگوریتم پیشنهادی پرداخته می‌شود. هدف از این مطالعه ارائه یک رویکرد حل مبتنی بر الگوریتم‌های فرا ابتکاری برای یک مدل پویای توزیع در زنجیره‌های عرضه سرد، در جهت کاهش هزینه‌های حمل‌ونقل و نیروی انسانی شرکت پگاه استان قزوین است. لازم به ذکر است که با توجه به وسعت شهر قزوین و تعداد زیاد خرده‌فروشان، تنها اطلاعات توزیع مربوط به مرکز توزیع و تعدادی از خرده‌فروشان در نظر گرفته می‌شود که در ادامه شرح داده می‌شود.

۳-۱- معرفی شرکت

شرکت صنایع شیر ایران در سال ۱۳۳۳ پی‌ریزی شده و در آبان ماه سال ۱۳۳۶ با ظرفیت روزانه ۴۵ تن در شهر تهران رسماً به بهره‌برداری رسیده است و اکنون متشکل از ۵۰ شرکت اصلی و فرعی است. شرکت صنایع شیر ایران (پگاه) در حال حاضر بزرگ‌ترین شرکت غذایی در خاورمیانه و چهارمین شرکت بزرگ در قاره آسیا در زمینه تولید و فرآوری محصولات لبنی به شمار می‌آید که طبق گفته مسوولان امر، ۳۰ درصد سهم بازار فرآورده‌های لبنی در ایران متعلق به این شرکت است. حوزه جغرافیایی این شرکت استان‌های

گیلان، آذربایجان شرقی، آذربایجان غربی، زنجان، قزوین، اردبیل و کردستان است.

۳-۲- مدل توزیع فعلی

شرکت پگاه قزوین برای توزیع محصولات خود از تعدادی وسیله نقلیه ثابت استفاده می‌کند که برای این وسایل نقلیه مسیر از قبل مشخص است. سیستم توزیع مورداستفاده این شرکت در حال حاضر یک سیستم توزیع ایستا است.

۳-۳- چالش ها و مسائل مربوط به سیستم توزیع فعلی

در سیستم‌های توزیع سنتی مسیریابی وسیله نقلیه ظرفیت دار بدین‌صورت انجام می‌گیرد که به هر منطقه یک وسیله نقلیه مختص همان منطقه اختصاص داده می‌شود و آن وسیله نقلیه وظیفه دارد که فقط برای مشتریان همان منطقه سرویس‌دهی نماید. در این صورت ممکن است حجم سفارش‌های مختص به آن منطقه از ظرفیت وسیله نقلیه کمتر باشد و این باعث شود حداکثر استفاده از ظرفیت بارگیری ماشین حاصل نشود و نتیجتاً موجب افزایش هزینه حمل‌ونقل، نیروی انسانی و مجموعه‌ای از هزینه‌های ثابت می‌گردد. به عبارتی می‌توان تعداد مسیرهای بیشتری را با همان وسیله نقلیه با استفاده از سیستم توزیع پویا نسبت به سیستم توزیع ایستا پیمایش کرد. علاوه بر این سیستم حمل‌ونقل سنتی دارای نقاط ضعف بسیاری است. ازجمله مسیرهایی که توسط هر وسیله نقلیه باید در طول روز پیموده شود، از قبل مشخص و ثابت است. این موضوع انعطاف‌پذیری سیستم توزیع را به حداقل می‌رساند. همچنین ممکن است ظرفیت بارگیری وسیله نقلیه برای یک مسیر کامل نباشد ولی به دلیل ثابت بودن مسیرها امکان بارگیری سفارش‌های مربوط به مسیرهای دیگر وجود نداشته باشد، به همین علت از نیروی انسانی و وسایل نقلیه حداکثر استفاده را نمی‌توان برد و باعث افزایش هزینه‌های عملیاتی می‌شود. از طرفی با توجه به اینکه مسیرهای بهینه برای رساندن کالا به مشتریان انتخاب نمی‌شود و فقط از یک مسیر خاص استفاده می‌شود، باعث افزایش هزینه‌ی سوخت و حمل‌ونقل در این سیستم توزیع می‌شود.

با توجه به مشکلات فوق برای ارائه تحویل‌های مواد لبنی در سطح شهر، این مطالعه به بررسی تأثیر استفاده از سیستم توزیع پویا به‌جای سیستم توزیع ایستا می‌پردازد. در ادامه به شرح روش حل مسأله و الگوریتم بکار گرفته شده (کلونی مورچه اصلاحی) پرداخته می‌شود.

۴- روش حل مسئله

در این مطالعه از نرم‌افزار متلب برای پیاده‌سازی الگوریتم کلونی مورچه اصلاحی استفاده خواهد شد. در ابتدا با اعمال الگوریتم کلونی مورچه پیشنهادی بر روی بخشی از داده‌های جمع‌آوری‌شده پارامترهای کنترلی آن را تنظیم نموده و سپس با اعمال الگوریتم بر روی کل نمونه‌ها، مقادیر معیارهای کارآیی بدست آمده با مقادیر موجود در مدل توزیع سنتی فعلی [شرکت پگاه استان قزوین] مورد مقایسه قرار می‌گیرد.

۴-۱- نسخه‌های توسعه‌یافته‌ی الگوریتم کلونی مورچگان

از الگوریتم کلونی مورچگان توسعه‌های متعددی در ادبیات موضوع وجود دارد. اولین نسخه توسعه‌یافته از الگوریتم ACO، الگوریتم سیستم مورچگان (AS) است که توسط دوریگو ارائه شد، این الگوریتم که یکی از مهم‌ترین الگوریتم‌های فراابتکاری در زمان خود بوده است، از غذایابی کلونی مورچه‌های واقعی الهام گرفته شده است به‌طوری‌که وظیفه اصلی هر مورچه مصنوعی مانند همتای طبیعی خود، یافتن کوتاه‌ترین مسیر بین یک جفت گره در یک گراف است. بنابراین مسأله به زیر مسأله هایی تبدیل می‌شود که در آن مورچه‌های مصنوعی وظیفه دارند که انتخاب گره بعدی j را از گره جاری i بر اساس فرومون ریخته شده روی یال (i,j) (t_{ij})و عکس فاصله یال (i,j) (h_{ij}) انجام دهند. قانون تصمیم برای مورچه k واقع در گره i،که می خواهد یکی از گره ها را از مجموعه گره های ملاقات نشده N_i انتخاب کند از رابطه ۱ بدست می آید.

$$p_{ij}^{k}=\begin{cases}\dfrac{\tau_{ij}^{\alpha}\,\eta_{ij}^{\beta}}{\sum_{j\in N_i}\tau_{ij}^{\alpha}\,\eta_{ij}^{\beta}} & if\quad j\in N_i\\ 0 & if\quad j\notin N_i\end{cases} \qquad (۱)$$

در این فرمول پارامترهایی مانند β و α وجود دارند که می توان به وسیله آن ها میزان اهمیت t_{ij} را نسبت به h_{ij} تغییر داد. همچنین مورچه ها درحالی که از گره i به گره j می روند،به مقدار Dt_{ij} ،فرومون محلی روی یال مربوطه طبق رابطه ۲ می ریزند.

$$\tau_{ij}(t)\leftarrow\tau_{ij}(t)+\Delta\tau_{ij} \qquad (۲)$$

به علاوه الگوریتم مانند نسخه طبیعی آن و برای اجتناب از همگرایی سریع همه مورچه‌ها به یک مسیر زیربهینه، از مکانیزم تبخیر فرمون استفاده می کند .یعنی غلظت فرومون به طور خودکار و در هر تکرار با ضریب $0 \pounds (1-r) \pounds 1$ کاهش می یابد که در آن r پارامتری تنظیم شده به وسیله کاربر است . به عبارت دیگر اگر t ماتریس فرمون موجود بر روی یال های گراف مربوطه باشد، آنگاه در هر تکرار به وسیله رابطه ۳ بروز می‌شود.

$$\tau\leftarrow(1-\rho)\,\tau \qquad (۳)$$

اولین مسأله‌ای که با AS حل شد، مسأله فروشنده دوره‌گرد بود زیرا به‌راحتی با این الگوریتم تطبیق می‌یافت؛ بنابراین می‌توان با به دست آوردن نتایج الگوریتم‌های جدید بر روی این مسأله و مقایسه با دیگر الگوریتم‌ها، کارایی آن را بررسی کرد. چون الگوریتم AS اولین نسخه از الگوریتم ACO بود که برای این مسأله مورداستفاده قرار گرفت و نتایج خوبی را در مقایسه با سایر الگوریتم‌های فرا ابتکاری آن زمان تولید نکرد، دانشمندان به تکاپو افتادند که نسخه‌های جدیدتری از الگوریتم را ایجاد کنند که بتوانند در مقایسه با سایر الگوریتم‌های فرا ابتکاری نتایج بهتری را به دست آورند. تلاش‌ها سبب شد که الگوریتم‌هایی مانند EAS، ACS، RAS، MMAS ارائه شوند.

اولین بهبودی که روی AS اتفاق افتاد، استفاده از الگوریتم نخبه بود که توسط دوریگو و همکارانش ارائه شد. الگوریتم EAS بر این پایه نهاده شده است که علاوه بر فرومون ریزی محلی بر روی تمامی یال‌هایی که مورچه‌ها از آن گذشته‌اند، یال‌های متعلق به بهترین مسیر تاکنون به‌دست‌آمده (T^*) که دارای بهترین مقدار L^{gb} است، در هر تکرار بر اساس رابطه ۴ با ضریب ثابت e فرومون ریزی شوند.

$$\Delta\tau_{ij}^{gb} = \begin{cases} \frac{e}{L^{gb}(t)} & (i,j)\epsilon T^* \\ 0 & (i,j) \notin T^* \end{cases} \qquad (۴)$$

این کار سبب می‌شود تا یال‌های متعلق به بهترین مسیر تا تکرار جاری بیشتر نسبت به یال‌های دیگر مورد توجه قرار گیرند و با توجه به مقدار L^{gb} بروز شوند.باید توجه کرد که هرچه مقدار L^{gb} در این فرمول کمتر باشد، فرومون بیشتری بر روی یال ها ریخته می شود. بنابراین، فرمول بروزرسانی کلی فرومون در eas عبارت است از :

$$\tau_{ij}(t+1) = (1-\rho)\tau_{ij}(t) + \sum_{k=1}^{m} \Delta\tau_{ij}^{k}(t) + \Delta\tau_{ij}^{gb}(t) \qquad (۵)$$

که در آن :

$$\Delta\tau_{ij}^{k}(t) = \begin{cases} 1/L^k(t) & (i,j)\epsilon T^k \\ 0 & (i,j) \notin T^k \end{cases} \qquad (۶)$$

T^k : مجموعه یال هایی که توسط مورچه k پیموده شده است.

همانطور که در بالا نشان داده شده است، $\Delta\tau_{ij}^{k}(t)$ فرمول بروزرسانی محل فرومون است.این عمل به این صورت انجام می شود که مورچه ها در حین اینکه بین گره I و j حرکت می‌کنند، مقداری فرومون به اندازه ی عکس هزینه ای که تاکنون پیموده‌اند $(1/L^k(t))$ را روی یال مربوطه می‌ریزند.

اگرچه EAS تا حد زیادی از سیستم مورچه AS الهام گرفته است اما به دلیل معرفی مکانیسم‌هایی جدید از لحاظ کارایی نسبت به AS برتری دارد. روند استراتژی نخبه بدین‌صورت است که مورچه تولیدکننده بهترین جواب، بتواند در هر تکرار الگوریتم، مسیر خود را فرومون ریزی کند. به‌عبارت‌دیگر در هر تکرار بهترین جواب الگوریتم تا تکرار حاضر مورد تشویق قرار می‌گیرد. این کار باعث می‌شود که تا حدودی کارایی الگوریتم نسبت به AS بهتر شود زیرا در ASتمام مورچه‌ها بعد از مدتی تورهای یکسانی تولید می‌کنند که سبب می‌شود اگر این تور مطلوب نباشد عملاً الگوریتم توانایی خود را برای یافتن جواب بهتر از دست دهد و روند جستجو و استخراج جواب متوقف شود. درنتیجه الگوریتم برای مسایل نسبتاً بزرگ، کارایی خود را از دست می‌دهد. به‌عبارت‌دیگر آینده‌نگری به اینکه علاوه بر فرومون ریزی محلی از فرومون ریزی سراسری استفاده شود باعث گردیده که یال‌های متعلق به بهترین مسیر تاکنون به دست آمده، بار دیگر مورد توجه قرار گیرند و فرومون بیشتری را جذب کنند. از طرف دیگر علی‌رغم مزایایی که این الگوریتم نسبت به AS دارد الگوریتم EAS، دارای معایبی است که سبب می‌شود کارایی این الگوریتم کاهش یابد که بعضی از آن‌ها به شرح زیر هستند:

۱. فرومون ریزی محلی راهنمای خوبی برای یافتن جواب‌های باکیفیت محسوب نمی‌شود و چه‌بسا یال‌هایی وجود داشته باشند که متعلق به بهترین مسیر در هیچ تکراری نباشند ولی در هر تکرار فرومون ریزی محلی شوند. این عمل سبب می‌شود که الگوریتم به‌طور مناسب به جستجوی همسایگی‌های جواب‌های باکیفیت نپردازد و زمان را برای جستجوهای تصادفی از دست بدهد.

۲. اشکال دیگری که در این الگوریتم وجود دارد این است که در فرومون ریزی سراسری فقط بهترین مسیر تاکنون به دست آمده فرومون ریزی می‌شود درصورتی‌که به علت ساختار تصادفی الگوریتم EAS این امکان وجود دارد که مقدار بهترین جواب در هر تکرار نسبت به تکرارهای قبلی بهتر یا بدتر شود. بنابراین، این احتمال نیز وجود دارد که در چندین تکرار متوالی، مقدار کیفیت بهترین جواب الگوریتم افزایش پیدا نکند و علی‌رغم اینکه یک جواب شاید از کیفیت خوبی برخوردار نباشد (به‌خصوص در ابتدای الگوریتم) اما در چندین تکرار به‌طور متوالی مورد فرومون ریزی قرار گیرد. بنابراین، در تکرارهای بعدی که الگوریتم می‌تواند با جستجوی بیشتر کیفیت جواب‌ها را افزایش دهد، فرومون اضافی روی یک جواب نامناسب

سبب می‌گردد که الگوریتم زمان زیادی را برای تغییر جهت جستجو در فضای جواب از دست بدهد بدون آنکه بتواند به جوابی بهتر دست پیدا کند.

۳. ساختار الگوریتم EAS به نحوی است که دقت جواب‌ها در ابتدا پایین است اما رفته‌رفته با افزایش تکرارها و ریختن فرومون توسط مورچه‌ها دقت جواب‌ها افزایش پیدا می‌کند. بنابراین،ضریب ثابت e نیز نمی‌تواند فرمول مناسبی برای تشویق بهترین مسیر تاکنون به دست آمده، باشد زیرا تفاوتی در اینکه بهترین جواب در چه تکراری و با چه دقتی به دست آمده، نمی‌گذارد.

۴. علی‌رغم اینکه الگوریتم EAS از کارایی بسیار خوبی برای جستجوی سراسری فضای شدنی برخوردار است اما بااین‌حال نمی‌تواند از قدرت خوبی برای جستجوی محلی نیز برخوردار باشد. زیرا دارای راهکاری برای جستجوی محلی جواب‌ها نیست به‌خصوص در زمانی که بهترین جواب الگوریتم در تکرار حاضر ارتقا یافته است زیرا به احتمال بالا در همسایگی‌های آن، جواب‌های بهتری نیز یافت می‌شود.

۴-۲- الگوریتم کلونی مورچه اصلاحی

به دلیل معایب موجود در نسخه‌های قبلی و با توجه به اینکه مسأله مسیریابی وسایل نقلیه ظرفیت دار و توسعه‌های آن، یکی از مهم‌ترین و پرکاربردترین مسائل NP-hard معرفی شده است که به‌طور وسیع در مسائل بهینه‌سازی کاربرد دارد، برای حل این مسأله از یک روش ترکیبی اصلاحی فرا ابتکاری بر پایه کلونی مورچه استفاده خواهد شد که با کمک از ادبیات موضوع به‌صورت زیر تشریح می‌گردد:

۱) در الگوریتم کلونی مورچه اصلاحی از فرومون ریزی محلی استفاده نمی‌شود و الگوریتم فقط از فرومون ریزی سراسری برای راهنمایی مورچه‌های بعدی استفاده می‌کند. باید توجه داشت که فرومون ریزی محلی سبب انحراف الگوریتم از یال‌های متعلق به بهترین مسیر می‌شود و باعث می‌گردد یال‌هایی که حتی در همسایه‌های بهترین جواب وجود ندارند، دارای فرومون اضافی شوند. درنتیجه الگوریتم کارایی خود را برای رسیدن به یال‌های متعلق به مسیرهای مستعدتر و فرومون ریزی آن‌ها ازدست می‌دهد.

۲) فرومون ریزی سراسری برای بهترین و بدترین جواب در هر تکرار مورداستفاده قرار می‌گیرد و از فرومون ریزی تنها برای بهترین جواب بدست آمده اجتناب می‌شود. باید توجه داشت که این کار سبب می‌شود که الگوریتم با تنوع بیشتری به دنبال جواب بهینه بگردد. تشویق بهترین جواب‌های هر تکرار که نقش بهینه محلی را بازی می‌کنند، سبب می‌شود که ناحیه جستجو محدود شده و الگوریتم فضای موجه مسأله را با دقت بیشتری جستجو نکند و تنه قسمتی از این فضا را بررسی کند. درنتیجه الگوریتم در یک بهینه محلی به‌راحتی به دام می‌افتد.

۳) مقدار ضریب ثابت در تشویق بهترین مسیر تاکنون به دست آمده در الگوریتم eas که e درنظر گرفته می شود در اینجا به صورت یک تابع تعریف می گردد.توجه به این نکته ضروری است که در روند بهبود eas مشخص شد که استفاده از تابع جند جمله ای k^2 برای تشویق بهترین مسیر و $-k^2$ برای تنبیه بدترین مسیر در هر تکرار (k در ایتدا دارای مقدار ۱ است و هر زمانی که الگوریتم جوابی بهتر را و هر زمانی که الگوریتم جوابی بهتر را نسبت به تکرارهای قبلی به دست می آورد یک واحد افزایش پیدا می کند) سبب می شود که نتایج بهتری برای الگوریتم به دست آید. علاوه بر این، این تابع چند جمله ای از آن جهت انتخاب نسبتاً مناسبی است که اولاً یک تابع صعودی است و ثانیاً دارای یک شیب متغیر است، به عبارت دیگر با افزایش تکرارها و به دست آمدن جواب های بهتر، تابع مربوطه رشد کرده و بهترین (بدترین) مسیر به دست آمده را با قدرت بیشتری نسبت به جواب های قبلی تشویق (تنبیه) می کند. توجه به این نکته ضروری است که مقدار کم تابع در ابتدای الگوریتم باعث می شود که فرومون ریخته شده تأثیر کمتری بر روی انتخاب مسیر ها در تکرارهای بعدی الگوریتم داشته باشد و مورچه ها نوعی از فراموشی را به اجرا بگذارند، به عبارت دیگر این کار باعث می شود که اگر مورچه ها جواب های ضعیفی را در ابتدای الگوریتم به دست آوردند، این جواب ها را به فراموشی بسپارند، اما با گذشت زمان که تعداد تکرار الگوریتم افزایش می یابد و جواب ها با دقت بیشتری به دست می آیند این مقدار چند جمله ای نیز به سرعت افزایش پیدا کرده و یال های متعلق به بهترین جواب فرومون بیشتری را جذب می کنند و یال های متعلق به بدترین جواب فرومون بیشتری را از دست می دهند.

۴) برای کارایی الگوریتم کلونی مورچه اصلاحی به‌منظور

جستجوی محلی، از دو روش درج (برداشتن یک مشتری از یک مسیر و ارسال آن به مسیری دیگر) و جابجایی (جابجا کردن یک مشتری در یک مسیر با یک مشتری دیگر از همان مسیر یا مسیر دیگر) استفاده می‌شود. یکی از این دو روش با احتمال یکسان برای همه‌ی مشتری‌های بهترین جواب بدست آمده در هر تکرار استفاده می‌شود. باید توجه داشت که جواب‌های به‌دست‌آمده فقط در حالتی پذیرفته می‌شوند که در محدودیت‌های مسأله صدق کنند و مقادیر بهتری را نسبت به جواب‌های قبلی به دست آورند.

۵) برای اینکه فرومون بر روی یال های متعلق به بدترین مسیر به یک مقدار منفی دست پیدا نکند یک کران پایین برای مقدار فرمون بر روی یال ها در نظر گرفته می شود به طوری که اگر مقدار فرمون بر روی یال ها از این مقدار کمتر شد آن گاه این کران پایین جایگزین مقدار به دست آمده می شود . در اینجا مقدار این کران پایین نصف مقدار فرمون ابتدایی در نظر گرفته می شود (باید توجه کرد که در ابتدای الگوریتم بر روی همه ی یال‌ها $u=0.1$ مقدار فرومون ریخته می شود).

۶) در حالت عادی اجرای الگوریتم پایه کلونی مورچه برای حل مسأله CVRP، اگر n تعداد گره‌ها و m تعداد وسیله نقلیه برای یک مثال دلخواه باشد، آنگاه n دسته از مورچه در یک تکرار مسیر خود را از انبار شروع می‌کنند تا n جواب موجه برای مسأله به دست آورند. باید توجه داشت که هر دسته دارای m مورچه (به تعداد وسیله نقلیه است) که نقش کامیون‌ها را بازی می‌کنند. شروع m مورچه از انبار باعث می‌شود که ناحیه موجه مسأله با گستردگی کمتری مورد توجه قرار گیرد و حرکت مورچه‌ها به یکدیگر شباهت زیادی داشته باشند. طبق آزمایش‌های انجام‌شده اگر این mمورچه از گره‌های تصادفی به‌غیراز انبار شروع به حرکت کنند و در انتها گره انبار به این گره‌ها با کمترین هزینه وارد گردد، آنگاه تنوع بیشتری در جواب‌های به‌دست‌آمده به وجود می‌آید. به همین علت در الگوریتم کلونی مورچه اصلاحی برای هر دسته از مورچه‌ها که یک جواب موجه را تولید می‌کنند، مورچه‌ها از گره‌های تصادفی شروع به حرکت می‌کنند. حال بعد از این که برای n دسته از مورچه‌ها n جواب موجه تولید شد، آنگاه طبق اصلاحات گفته شده بهترین و بدترین جواب مورد فرومون ریزی سراسری قرار می‌گیرند.

۵- آزمایش‌ها، ارزیابی و تحلیل نتایج

۵-۱- تجزیه‌وتحلیل نتایج

در این بخش، نتایج اعمال الگوریتم کلونی مورچه اصلاحی در سیستم توزیع پیشنهادی ارائه می‌گردد. الگوریتم مربوطه به‌وسیله نرم‌افزار MATLAB 2016b نوشته شده و روی کامپیوتری با ۴ گیگابایت حافظه RAM و ۴۶۰۰ مگاهرتز قدرت پردازشگر اجرا شده است.

در سیستم توزیع پویای پیشنهادی مسیرهای وسایل نقلیه برای توزیع مواد لبنی از قبل مشخص نیست و با توجه به حجم سفارش‌های مربوط به آن روز توسط هر خرده‌فروش، تعداد وسایل نقلیه برای توزیع و مسیرهای بهینه مشخص می‌شود. در ادامه سیستم توزیع پویا با سیستم توزیع فعلی مقایسه می‌شود.

مجموعه داده‌های تست در این مطالعه الهام گرفته از داده‌های جمع‌آوری‌شده در شرکت پگاه قزوین است. روش جمع‌آوری اطلاعات در این شرکت به‌صورت میدانی بوده و با بهره‌گیری از کارشناسان خبره این جمع‌آوری به انجام رسیده است. بازه ی زمانی اطلاعات، مربوط به یک روز کاری در شرکت پگاه استان قزوین است . لیست داده‌های مربوط به این مطالعه شامل: نوع وسیله نقلیه، حجم سفارش مشتری در هر روز، ظرفیت حمل ماشین‌ها، میزان کیلومتر مبدأ تا مقصد و هزینه حمل‌ونقل است.

متأسفانه به دو دلیل امکان به‌کارگیری مستقیم این داده‌ها در این پژوهش وجود نداشت. اول اینکه تعداد خرده‌فروشان در یک محدوده مکانی و همچنین تعداد ماشین‌هایی که به این خرده‌فروشان خدمت‌رسانی می‌کنند کم است. دوم به دلیل تنوع سفارش‌های روزانه و پراکندگی خرده‌فروشان جمع‌آوری اطلاعات مربوط به حجم سفارش هر فروشگاه و موقعیت دقیق مکانی آن‌ها کاری دشوار است.

با توجه به دلایل فوق، تصمیم به تولید داده‌های مصنوعی بر اساس نیازمندی‌های اولیه توزیع مواد لبنی و نیز داده‌های شرکت پگاه گرفته شد. چون به‌طور متوسط در هر محله حداقل ۲ تا ۳ یک سوپرمارکت مواد لبنی وجود دارد، در این مطالعه موقعیت مکانی برای ۱۰۰ مغازه در بازه‌ی ($X=10000,Y=20000$) به شعاع هر ۵۰۰ متر در نظر گرفته شده است. با توجه به اینکه شرکت پگاه قزوین برای سرویس‌دهی و خدمات‌رسانی به مشتریان به‌طور متوسط به ازای هر ۷ الی ۸ فروشگاه یک وسیله نقلیه اختصاص داده است، بنابراین در این مطالعه طبق یک معیار یا برآورد خطی به ازای ۱۰۰ فروشگاه مواد لبنی ۱۳ عدد وسیله نقلیه (شامل ۶ کامیونت ایسوزو هر کدام با ظرفیت ۳ تن و ۷ وانت سایپا با ظرفیت هر کدام ۱ تن)

برای حالت ایستا به‌صورت ثابت در نظر گرفته شده است.

همچنین هزینه‌ی هر نیروی انسانی ۲۰ میلیون ریال به‌صورت ماهانه در نظر گرفته شده و به ازای هر وسیله نقلیه به یک نیروی انسانی احتیاج است. هزینه‌ی سوخت نیز برای هر یک لیتر ۱۰ هزار ریال در نظر گرفته شده است.

با مطالعه داده‌های جمع‌آوری‌شده از شرکت پگاه قزوین، امکان تعریف یک سطح توزیع معین وجود ندارد لذا در این پژوهش پنج سطح توزیع با درجات متفاوت تعریف شده است تا بتوان متغیر بودن سطوح توزیع مورد مطالعاتی این تحقیق را پوشش داد. در سطح توزیع اول که سطح ۵۰-۵۰ است تمام سفارش‌ها به‌طور یکسان به تمام فروشگاه‌ها تخصیص داده می‌شود. در سطح توزیع دوم که سطح ۴۰-۶۰ است،۶۰ درصد از سفارش‌ها به ۴۰ درصد از مغازه‌ها اختصاص پیدا کند و سایر سفارش‌ها به باقیمانده مغازه‌ها تخصیص می‌یابد. در سطح توزیع سوم که سطح ۳۰-۷۰ است،۷۰ درصد از سفارش‌ها به ۳۰ درصد از مغازه‌ها اختصاص پیدا کند و سایر سفارش‌ها به باقیمانده مغازه‌ها تخصیص می‌یابد. در سطح توزیع چهارم که سطح ۲۰-۸۰ است،۸۰ درصد از سفارش‌ها به ۲۰ درصد از مغازه‌ها اختصاص پیدا کند و سایر سفارش‌ها به باقیمانده مغازه‌ها تخصیص می‌یابد. در سطح توزیع آخر که سطح ۱۰-۹۰ است،۹۰ درصد از سفارش‌ها به ۱۰ درصد از مغازه‌ها اختصاص پیدا کند و سایر سفارش‌ها به باقیمانده مغازه‌ها تخصیص می‌یابد؛ بنابراین اجرای این برنامه برای پنج سطح توزیع (۵۰-۵۰، ۴۰-۶۰، ۳۰-۷۰، ۲۰-۸۰، ۱۰-۹۰) هم در حالت ایستا و هم در حالت پویا در نظر گرفته‌شده است.

جدول ۱ نتایج تحلیل الگوریتم برای سیستم توزیع ایستا و

جدول ۲ نتایج تحلیل الگوریتم برای سیستم توزیع پویا در سطوح مختلف را ارائه می‌دهد. همان‌طور که در جدول ۱ و

جدول ۲ مشاهده می‌شود، در سیستم توزیع پویا در سطوح مختلف توزیع تعداد وسایل نقلیه، مسافت پیموده شده و هزینه نهایی انرژی نسبت به حالت ایستا کمتر است. در ادامه با ارائه نمودارهای مقایسه‌ای برای سیستم‌های توزیع ایستا و پویا نشان داده خواهد شد که بیشترین بهبود در سطوح توزیع ۵۰-۵۰ و ۲۰-۸۰ و کمترین بهبود در سطح توزیع ۳۰-۷۰ است، اما بااین‌حال در همه‌ی سطوح توزیع در سیستم توزیع پویا نسبت به سیستم توزیع ایستا هزینه‌ها به‌طور چشمگیری کاهش می‌یابد.

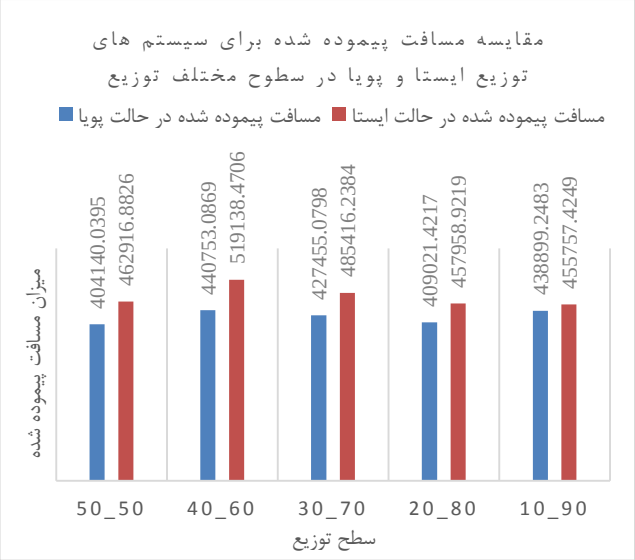
میزان مسافت پیموده شده برای کل مسیرها در سیستم توزیع ایستا و سیستم توزیع پویا در یک روز کاری در نمودار ۱ نشان داده شده است. مسافت پیموده شده برای تحویل سفارش‌ها به مغازه‌ها در تمامی سطوح توزیع در حالت پویا کمتر از حالت ایستا است که بیانگر کاهش مصرف سوخت، کاهش استهلاک وسایل نقلیه و کاهش آلودگی هوا است.

جدول ۱ : تعداد وسایل نقلیه استفاده‌شده، مسافت پیموده شده و هزینه نهایی انرژی برای سطوح مختلف توزیع در حالت ایستا

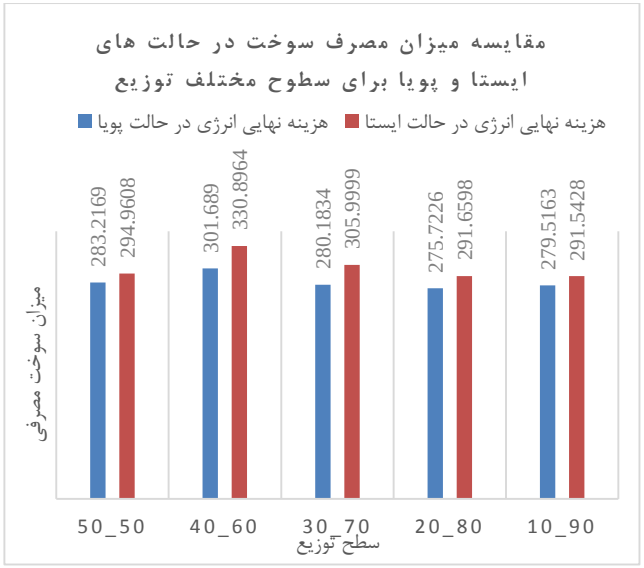
	۵۰-۵۰	۴۰-۶۰	۳۰-۷۰	۲۰-۸۰	۱۰-۹۰
تعداد وسایل نقلیه استفاده شده	13	13	13	13	13
مسافت پیموده شده	462916.8826	519138.4706	485416.2384	457958.9219	455757.4249
هزینه نهایی انرژی	294.9608	330.8964	305.9999	291.6598	291.5428

جدول ۲ : تعداد وسایل نقلیه استفاده‌شده، مسافت پیموده شده و هزینه نهایی انرژی برای سطوح مختلف توزیع در حالت پویا

	۵۰-۵۰	۴۰-۶۰	۳۰-۷۰	۲۰-۸۰	۱۰-۹۰
تعداد وسایل نقلیه استفاده شده	6	7	9	6	8
مسافت پیموده شده	404140.0395	440753.0869	427455.0798	409021.4217	438899.2483
هزینه نهایی انرژی	283.2169	301.689	280.1834	275.7226	279.5163



نمودار ۱ : مقایسه مسافت پیموده شده بین سیستم‌های توزیع ایستا و پویا در سطوح مختلف توزیع



نمودار ۲ : مقایسه میزان مصرف سوخت بین سیستم‌های توزیع ایستا و پویا برای سطوح مختلف توزیع

اختلاف مسافت پیموده شده بین سیستم‌های توزیع ایستا و پویا در سطح توزیع ۵۰-۵۰، ۵۸۷۷۷ متر، سطح توزیع ۴۰-۶۰، ۷۸۳۸۵ متر، سطح توزیع ۳۰-۷۰،۵۷۹۶۱ متر، سطح توزیع ۲۰-۸۰، ۴۸۹۳۸ متر و درنهایت در سطح توزیع ۱۰-۹۰، ۱۶۸۵۸ متر است.

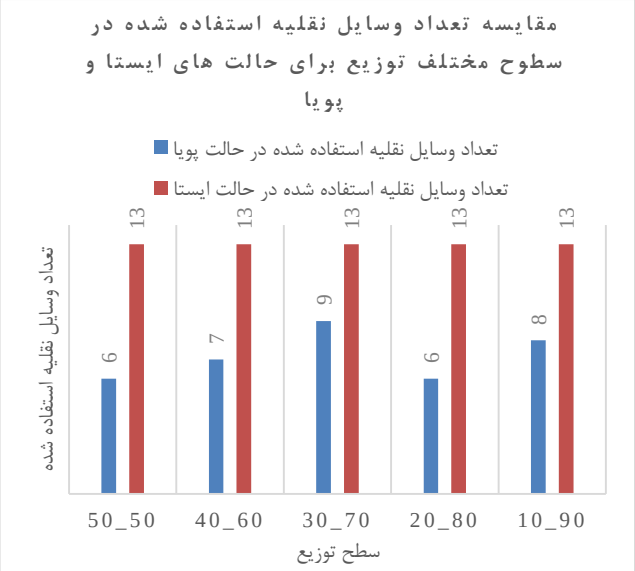
با توجه به نتایج اختلاف مسافت‌های پیموده شده در سیستم توزیع ایستا و پویا در سطوح مختلف، بیشترین میزان اختلاف متعلق به سطح ۴۰-۶۰ است که در سیستم توزیع پویا ۷۸۳۸۵ متر نسبت به سیستم توزیع ایستا کاهش مسافت داشته است. لذا می‌توان نتیجه گرفت که سیستم توزیع پویا در این سطح از توزیع به دلیل کاهش تعداد وسایل نقلیه نسبت به حالت ایستا و استفاده از حداکثر ظرفیت بارگیری آن‌ها، بهترین مسافت پیموده شده را نسبت به سطوح دیگر دارد.

نمودار ۲ مقایسه‌ای از میزان مصرف سوخت برای تحویل سفارش‌ها به مغازه‌ها با استفاده از سیستم توزیع ایستا و پویا برای سطوح مختلف توزیع را در یک روز ارائه داده است. اختلاف میزان مصرف سوخت بین سیستم‌های توزیع ایستا و پویا به‌طور تقریبی در سطح توزیع ۵۰-۵۰، ۱۲ لیتر، سطح توزیع ۴۰-۶۰، ۲۹ لیتر، سطح توزیع ۳۰-۷۰، ۲۶ لیتر، سطح توزیع ۲۰-۸۰، ۱۶ لیتر و درنهایت در سطح توزیع ۱۰-۹۰، ۱۲ لیتر است. با توجه به نتایج اختلاف در سیستم توزیع ایستا و پویا در سطوح مختلف، بیشترین میزان اختلاف متعلق به سطح ۴۰-۶۰ است که در سیستم توزیع پویا ۲۹ لیتر نسبت به سیستم توزیع ایستا کاهش مصرف سوخت داشته است. لذا می‌توان نتیجه گرفت که سیستم توزیع پویا در این سطح توزیع، بهترین میزان سوخت مصرفی را نسبت به سطوح دیگر دارد. بااین‌حال در سطوح مختلف توزیع میزان مصرف سوخت در حالت پویا کمتر از حالت ایستا است که بیانگر کاهش هزینه‌ها و کاهش میزان آلاینده‌های هوا است.

میزان هزینه‌ی مصرف سوخت در یک روز در نمودار ۳، برای سیستم‌های توزیع ایستا و پویا باهم مقایسه شده‌اند. همان‌طور که قابل‌مشاهده است، در سطوح مختلف توزیع میزان هزینه مصرف سوخت در حالت پویا کمتر از حالت ایستا است زیرا مصرف سوخت در حالت پویا کمتر از حالت ایستا است.

نمودار ۳ : مقایسه میزان هزینه سوخت برای سیستم‌های توزیع ایستا و پویا در سطوح مختلف توزیع در یک روز

نمودار ۴ به مقایسه ی تعداد وسایل نقلیه استفاده شده در سطوح مختلف توزیع، در یک روز کاری برای حالت های ایستا و پویا پرداخته است.



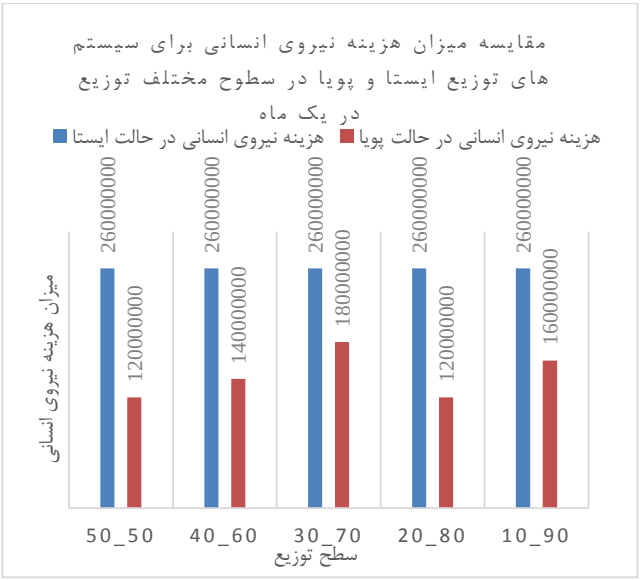
نمودار ۴ : مقایسه تعداد وسایل نقلیه استفاده‌شده در سطوح مختلف توزیع برای حالت‌های ایستا و پویا

همان‌طور که در نمودار ۴ قابل مشاهده است، استفاده از سیستم توزیع پویا تعداد وسایل نقلیه را در سطح ۵۰-۵۰ و ۲۰-۸۰، نسبت به سیستم توزیع ایستا ۷ عدد کاهش می‌دهد، همچنین در سطوح توزیع ۴۰-۶۰ و ۱۰-۹۰ و ۳۰-۷۰ به ترتیب تعداد وسایل نقلیه را ۶ و ۵ و ۴ عدد کاهش می‌دهد؛ بنابراین تعداد وسایل نقلیه در سطوح توزیع ۵۰– ۵۰ و ۲۰-۸۰ به پایین‌ترین سطح ممکن رسیده است و نسبت به سطوح توزیع دیگر بهتر است؛ بنابراین اگر حجم سفارش‌های توزیع‌شده بین فروشگاه‌ها یکسان باشد یا به‌صورتی باشد که ۸۰ درصد سفارش‌ها به ۲۰ درصد فروشگاه‌ها و ۲۰ درصد باقیمانده به ۸۰ درصد فروشگاه‌ها اختصاص یابد، تعداد وسایل نقلیه به بهترین حالت ممکن می‌رسد.

با توجه به توضیحات فوق تعداد وسایل نقلیه در سیستم توزیع پویا به میزان چشمگیری نسبت به وسایل نقلیه استفاده‌شده در سیستم توزیع ایستا کاهش یافته است، بنابراین به تعداد کاهش وسایل نقلیه در سیستم توزیع پویا، تعداد نیروی انسانی نیز کم می‌شود که این پدیده همانگونه که در نمودار ۵ قابل مشاهده می باشد باعث کاهش چشمگیری در هزینه‌های نیروی انسانی در کوتاه‌مدت و طولانی‌مدت می‌شود.

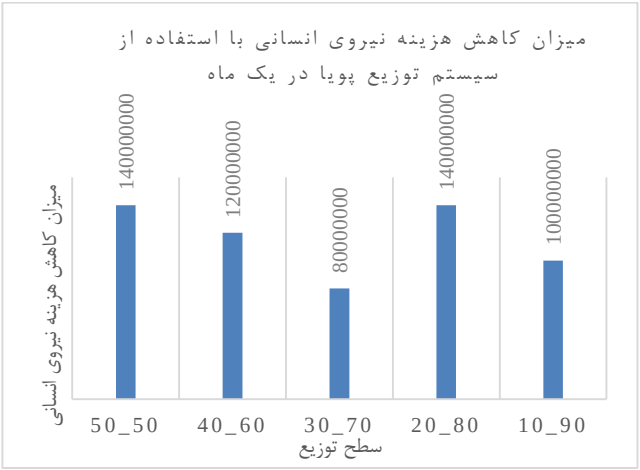
نمودار ۶ میزان کاهش هزینه‌ی نیروی انسانی با استفاده از سیستم توزیع پویا را در یک ماه نشان می‌دهد.

همان‌گونه که در این نمودار قابل مشاهده است، میزان کاهش هزینه‌های نیروی انسانی در سطوح توزیع ۵۰-۵۰ و ۲۰-۸۰ نسبت به سایر سطوح توزیع کاهش چشمگیری دارد. سیستم توزیع پویا در



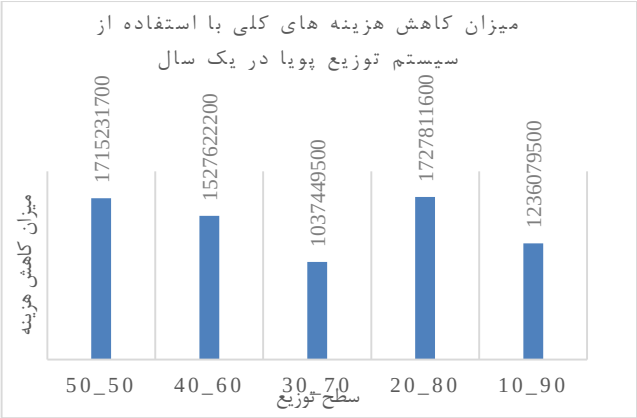
نمودار ۵ : مقایسه میزان هزینه نیروی انسانی برای سیستم‌های توزیع ایستا و پویا در سطوح مختلف توزیع در یک ماه

این دو سطح با کاهش تعداد وسایل نقلیه از ۱۳ عدد (در سیستم توزیع ایستا) به شش عدد (در سیستم توزیع پویا) باعث کاهش هزینه‌ی نیروی انسانی شده است. درواقع با حذف هفت عدد وسیله نقلیه، هزینه‌ی هفت نیروی انسانی که معادل ۱۴۰ میلیون ریال است را حذف نموده است. همچنین سطح توزیع ۴۰-۶۰ نیز به میزان قابل‌توجهی هزینه‌های نیروی انسانی را با اختلاف کمی با سطوح توزیع ۵۰-۵۰ و ۲۰-۸۰ کاهش می‌دهد.



نمودار ۶ : میزان کاهش هزینه نیروی انسانی با استفاده از سیستم توزیع پویا در یک ماه

میزان کاهش هزینه‌ها در هر سیستمی در طولانی‌مدت نمایان می‌شود؛ بنابراین هدف از ارائه نمودار ۷ نمایش میزان کاهش هزینه‌های نهایی بخش توزیع از زنجیره عرضه سرد با استفاده از سیستم توزیع پویا در طولانی‌مدت (یک سال) است.



نمودار ۷ : میزان کاهش هزینه‌های کلی با استفاده از سیستم توزیع پویا در یک سال

همان‌گونه که در نمودار ۷ قابل مشاهده است، سطح توزیع ۲۰-۸۰ بهترین کاهش را در میزان هزینه‌های نهایی در بخش توزیع از زنجیره عرضه سرد به میزانی بالغ بر ۱,۷۲۸ میلیارد ریال داشته است، همچنین سطح توزیع ۵۰-۵۰ با اختلاف بسیار کمی با سطح توزیع ۲۰-۸۰ به میزانی بالغ بر ۱,۷۱۵ میلیارد ریال روی کاهش هزینه‌های بخش توزیع سهیم است. سطح توزیع ۴۰-۶۰ نیز با کاهشی به میزان بالغ بر ۱,۵۲۷ میلیارد ریال در هزینه‌های نهایی سومین سطح بهینه‌ی توزیع است، اما دو سطح توزیع ۱۰-۹۰ و ۳۰-۷۰ با کاهشی به میزان بالغ بر ۱,۲۳۶ میلیارد ریال و ۱,۰۳۷ میلیارد ریال به ترتیب، در هزینه‌های نهایی کمترین میزان صرفه‌جویی در هزینه‌ها را داشته‌اند، بااین‌حال در این دو سطح از توزیع نیز در سیستم توزیع پویا نسبت به سیستم توزیع ایستا هزینه‌ها به‌طور چشمگیری کاهش یافته است.

با توجه به کاهش چشمگیر هزینه‌ها در تمام پنج سطح توزیع پیشنهادی، به‌راحتی می‌توان نتیجه گرفت که عملیاتی کردن این سیستم توزیع پویا در بستر مطالعاتی داده‌شده (پگاه قزوین) باعث کاهش قابل‌توجه هزینه‌های حمل‌ونقل این سازمان خواهد شد همچنین با توجه به کاهش میزان مصرف سوخت، تأثیر مستقیمی بر کاهش میزان آلاینده‌های محیط‌زیست خواهد داشت. لازم به ذکر است این مطالعه فقط بر روی محدوده ی کوچکی از شهر قزوین انجام شده است و در صورت بسط این مطالعه به تمام محدوده های شرکت پگاه قزوین و یا حتی شهرهای دیگر، به میزان بسیار زیادی می توان در هزینه ها صرفه جویی کرد.

۶- نتیجه‌گیری

در این پژوهش، از الگوریتمی استفاده شده است که از روش ترکیبی اصلاحی فرا ابتکاری بر پایه کلونی مورچه برای حل مسأله CVRP استفاده می‌کند که در آن برای افزایش کارایی الگوریتم، اصلاحاتی شامل جلوگیری از فرومون ریزی محلی، فرومون ریزی سراسری با ضرایب مثبت و منفی بر روی بهترین و بدترین جواب در هر تکرار، استفاده از دو الگوریتم جستجوی محلی کارا و غیره انجام گرفته است؛ که این اصلاحات سبب شد که الگوریتم بتواند از کارایی بهتری برای فرار از نقاط بهینه محلی برخوردار شود و بتواند به جواب‌های بسیار خوبی دست پیدا کند. باید توجه کرد که الگوریتم کلونی مورچه اصلاحی یک روش کاملاً رقابتی برای حل این مسأله محسوب می‌شود که توانسته است به جواب‌های باکیفیتی دست پیدا کند.

با توجه به نتایج آزمایش‌ها می‌توان نتیجه گرفت که این سیستم توزیع فاقد انعطاف‌پذیری است زیرا تعداد وسایل نقلیه در سیستم توزیع ایستا ثابت بوده و مسیرها از قبل مشخص است، بنابراین عمدتاً وسایل نقلیه به‌طور کامل بارگیری نمی‌شوند و دارای ظرفیت خالی هستند. در سیستم توزیع جدید با ارائه‌ی یک سیستم توزیع پویا و رفع مشکلات فوق می‌توان به‌صورت چشمگیری در هزینه‌های زنجیره عرضه سرد صرفه‌جویی کرد که عمدتاً این میزان از کاهش هزینه‌ها در طولانی‌مدت قابل محسوس است.

یکی از ویژگی‌های این سیستم توزیع نسبت به سیستم توزیع فعلی، پویا بودن آن است. بدین معنا که بعد از دادن مختصات تمامی مقاصد، بهترین مسیرهای ممکن و همچنین بهترین تعداد وسایل نقلیه در کل داده‌ها را پیدا می‌کند به‌گونه‌ای که ممکن است مقاصد از یک راننده به راننده دیگر منتقل شود.

بر طبق نتایج بدست آمده در بخش قبل، تعداد وسایل نقلیه استفاده‌شده، مسافت پیموده شده و درنتیجه هزینه نهایی انرژی، در حالت پویا نسبت به حالت ایستا کمتر است. این تفاوت چشم‌گیر، کارایی سیستم توزیع پویا را نشان می‌دهد و با استفاده از آن می‌توان به‌صورت قابل ملاحظه‌ای در هزینه‌ها (شامل هزینه مصرف سوخت، هندلینگ و نیروی انسانی) صرفه‌جویی کرد. استفاده از این سیستم توزیع پویا باعث بهبود در عملکرد زنجیره سرد شده و خدمات توزیع در این زنجیره را آسان می‌کند.

با توجه به تمامی محاسبات و تحقیقات انجام‌شده در این پروژه پیشنهاد اصلی برای انجام کارهای آتی، افزودن قیود بیشتری به مدل توزیع پویای پیشنهادی برای در برگرفتن سایر معیارهای مرتبط با رضایت‌مندی مشتری از قبیل افزودن پنجره‌های زمانی و تخصیص موعد سررسید می باشد.

با توجه به این‌که این مدل پویا تأثیر بسزایی بر روی صرفه‌جویی در هزینه‌های اقتصادی شرکت پگاه قزوین (به‌خصوص صرفه‌جویی در هزینه نیروی انسانی) داشته است، می‌توان این مدل پویا را در سایر شرکت‌های صنعتی و خدماتی بزرگ که دارای یک سیستم توزیع

فراگیری می‌باشند، پیاده‌سازی کرد. بنابراین کار بر روی این ایده‌ها و کاربردی کردن آن‌ها می‌تواند در پژوهش‌های آتی صورت پذیرد.

مراجع

[1] L.H Aramyan, A.G. Oude Lansink, J.G. Van Der Vorst, and O. Van Kooten, "Performance measurement in agri-food supply chains: a case study", Supply Chain Management: An International Journal, vol. 12, no. 4, pp.304-315, 2007.

[2] A. Rong, and M. Grunow, "A methodology for controlling dispersion in food production and distribution". OR Spectrum, vol. 32, no. 4, pp. 957-978, 2010.

[3] R.A.C.M. Broekmeulen, and K.H. Van Donselaar, "A heuristic to manage perishable inventory with batch ordering, positive lead-times, and time-varying demand", Computers & Operations Research, vol. 36, no. 11, pp. 3013-3018, 2009.

[4] B. Gopakumar, S. Sundaram, S., Wang, S. Koli, and K. Srihari, "A simulation based approach for dock allocation in a food distribution center", In 2008 Winter Simulation Conference, pp. 2750-2755, 2008.

[5] J.G. Van Der Vorst, S.O. Tromp, and D.J.V.D. Zee, "Simulation modelling for food supply chain redesign; integrated decision making on product quality, sustainability and logistics", International Journal of Production Research, vol. 47, no. 23, pp. 6611-6631, 2009.

[6] J. Blackburn, and G. Scudder, "Supply Chain Strategies for Perishable Products: The Case of Fresh Produce", Production and Operations Management, Vol. 18, no. 2, pp. 129-137, 2009.

[7] S. Zanoni, and L. Zavanella, "Single-vendor single-buyer with integrated transport-inventory system: Models and heuristics in the case of perishable goods", Computers & Industrial Engineering, Vol. 52, no. 1, pp. 107-123, 2007.

[8] O. Ahumada, and J.R. Villalobos, "A tactical model for planning the production and distribution of fresh produce", Annals of Operations Research, vol. 190, no. 1, pp. 339-358, 2011.

[9] G. Laporte, "Fifty Years of Vehicle Routing" Transportation Science, vol. 43, no. 4, pp. 408-416, 2009.

[10] S. Eilon, C.D.T. Watson-Gandy, and N. Christofides, "Distribution management" Griffin, London: mathematical modeling and practical analysis, 1971.

[11] J. Perl, and M.S. Daskin, "A warehouse location-routing problem", Transportation Research part B: Methodological, vol. 19, no. 5, pp. 381-396, 1985.

[12] M., Reimann, K. Doerner, and R.F. Hartl, "D-Ants: Savings Based Ants divide and conquer the vehicle routing problem" Computers & Operations Research, vol. 31, no. 4, pp. 563-591, 2004.

[13] E. Teymourian, V. Kayvanfar, G.M. Komaki, and M. Zandieh, "Enhanced intelligent water drops and cuckoo search algorithms for solving the capacitated vehicle routing problem" Information Sciences, vol. 334, pp.354-378, 2016.

[14] P.J. Cardoso, G. Schütz, A. Mazayev, E. Ey, and T. Corrêa, "A solution for a real-time stochastic capacitated vehicle routing problem with time windows" Procedia Computer Science, vol. 51, pp.2227-2236, 2015.

[15] M. Soysal, J.M. Bloemhof-Ruwaard, and T. Bektaş, "The time-dependent two-echelon capacitated vehicle routing problem with environmental considerations" International Journal of Production Economics, vol. 164, pp. 366-378, 2015.

[16] C. Expósito-Izquierdo, A. Rossi, and M. Sevaux, "A Two-Level solution approach to solve the Clustered Capacitated Vehicle Routing Problem", Computers & Industrial Engineering, vol. 91, pp. 274-289, 2016.

[17] M.H. Chen, P.C. Chang, C.Y. Chiu, and S.P. Annadurai, "A hybrid two-stage sweep algorithm for capacitated vehicle routing problem" In 2015 International Conference on Control, Automation and Robotics, pp. 195-199, 2015.

[18] T. Vidal, "Technical note: Split algorithm in O(n) for the capacitated vehicle routing problem" Computers & Operations Research, vol. 69: pp. 40-47, 2016.

[19] A.N. Letchford, and J.-J. Salazar-González, "Stronger multi-commodity flow formulations of the Capacitated Vehicle Routing Problem", European Journal of Operational Research, vol. 244, no. 3, pp. 730-738, 2015.

[20] L. Wei, Z. Zhang, D. Zhang, and A. Lim, "A variable neighborhood search for the capacitated vehicle routing problem with two-dimensional loading constraints" European Journal of Operational Research, vol. 243, no. 3, pp.798-814, 2015.

[21] A.N. Letchford, and J.-J. Salazar-González, "The Capacitated Vehicle Routing Problem: Stronger bounds in pseudo-polynomial time" European Journal of Operational Research, vol. 272, no. 1, pp. 24-31, 2019.

[22] M.A. Hannan, M. Akhtar, R.A. Begum, H. Basri, A. Hussain, and E. Scavino, "Capacitated vehicle-routing problem model for scheduled solid waste collection and route optimization using PSO algorithm" Waste management, vol. 71, pp.31-41, 2018.

[23] M.X. Song, J.Q. Li, L. Li, W. Yong, and P.Y. Duan, "Application of Ant Colony Algorithms to Solve the Vehicle Routing Problem" In International Conference on Intelligent Computing, pp. 831-840, 2018.

[24] K.M. Dhanya, S. Kanmani, G. Hanitha, and S. Abirami, "Hybrid Crow Search-Ant Colony Optimization Algorithm for Capacitated Vehicle Routing Problem", In International Conference on Soft Computing Systems, pp. 46-52, 2018.

[۲۵] حسین لرکی، نسرین ملک زاده گورادل ، فردیس نخعی، مجید یوسفی خوشبخت، "یک روش ترکیبی اصلاحی فراابتکاری برای حل مسئله مسیریابی وسیله نقلیه ظرفیت دار"، پژوهشنامه حمل و نقل، دوره ۱۰، شماره ۱، ۱۳۹۲.

پاورقی‌ها:

[1] Capacitated Vehicle Routing Problem

[2] Supply chain management (SCM)

[3] Cold Chain Management

[4] Traveling Salesmen Problem

[5] Vehicle Routing Problem

[6] Improved intelligent water drops

[7] Advanced cuckoo search

[8] Local search hybrid algorithm

[9] Post-optimization hybrid algorithm

[10] Sweep Algorithm