

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

Benyamin Khanmohammadzadeh Seresti<sup>1</sup>, Mojtaba Shakeri<sup>2\*</sup> and Parvin Nikbakht<sup>3</sup>

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.

<sup>1</sup>kmzs.benyamin@gmail.com, <sup>2\*</sup>shakeri@guilan.ac.ir, and <sup>3</sup>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.

## 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<sup>۱</sup>، مجتبی شاکری<sup>۲\*</sup>، پروین نیکبخت<sup>۳</sup>

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.

<sup>1</sup>knzs.benjamin@gmail.com, <sup>2</sup>\*shakeri@guilan.ac.ir, <sup>3</sup>nikbakht.parvin@golrang.com

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

چکیده- در دنیای رقابتی امروز کاهش هزینه های توزیع از جمله موارد مهمی است که در سرلوحه تفکرات مدیران صنایع قرار گرفته است. درصد زیادی از قیمت تمام شده یک محصول متعلق به هزینه های توزیع آنست. بنابراین حذف مسافت های غیر ضروری و بهینه سازی مسیرهای طی شده به عنوان یکی از راه حل های مطلوب برای کاهش هزینه های توزیع شناخته شده است. هدف از این مطالعه، ارائه ی یک مدل توزیع پویا در یک زنجیره عرضه سرد مواد لبنی با استفاده از یک روش ترکیبی اصلاحی فراابتکاری مبتنی بر بهینه سازی کلونی مورچه است. مدل توزیع پیشنهادی بر پایه مسالیه 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 سفارش های مربوط به آن روز توسط هر خرده فروش، تعداد و سایل نقلیه کمینه همراه با مسیرهای بهینه توزیع مشخص می گردد. ارزیابی کارایی مدل توزیع پیشنهادی بر پایه مجموعه دادگان تستی که با الهام از داده های جمع آوری 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 آزمایش ها نشان می دهد که مدل توزیع پویای پیشنهادی به دلیل کاهش قابل محسوس تعداد و سایل نقلیه بکار گرفته شده، مسافت طی شده کوتاه تر و مصرف سوخت کم تر، باعث صرفه جویی در هزینه های حمل و نقل، نیروی انسانی و هندلینگ شده و کارایی و انعطاف پذیری بیشتری نسبت به سیستم توزیع ایستا دارد.

واژه های کلیدی: زنجیره عرضه سرد، مدل توزیع پویا، مسالیه مسیریابی وسیله نقلیه ظرفیت دار، بهینه سازی کلونی مورچه.

### ۱- مقدمه

وابسته است. ارائه مطلوب این خروجی ها (هزینه، کیفیت، عملکرد، تحویل به موقع، انعطاف و نوآوری) به توانایی سازمان در اداره جریان مواد، اطلاعات و پول در داخل و خارج سازمان وابسته است. این جریان به عنوان زنجیره عرضه و شبکه های توزیع شناخته شده 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

در دنیای رقابتی امروز کاهش هزینه های تولید و بهبود بهره وری از جمله مواردی هستند که در سرلوحه تفکرات و سیاست های تولیدی مدیران صنایع قرار گرفته و هر شرکتی با تمهیدات گوناگون سعی در ارائه راه حل های مطلوب برای رفع نیازهای فوق دارد. موفقیت بسیاری از سازمان های خصوصی، دولتی و نظامی به توانایی آنها در ارائه خروجی های مطلوب و محصولات بهتر و با هزینه پایین

**Archive of SID**

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. از جمله 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 به صورت 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

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<sup>۱</sup>) 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<sup>۲</sup>) که مدیریت زنجیره سرد (CCM<sup>۳</sup>) 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 نه تنها 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.

## Archive of SID

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

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

فرض ۳: تمام وسایل نقلیه که از مرکز توزیع به سمت مشتریان حرکت می کنند 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.

از آنجا که هدف از ارائه ی 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 می گیرد. 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 تجزیه و تحلیل قرار می گیرد. در پایان، بخش ششم به نتیجه گیری و ارائه پیشنهاداتی برای تحقیقات آینده می پردازد.

### ۲- مرور ادبیات

مکانیزم توزیع در زنجیره سرد برای توزیع محصولات یخچالی تازه و وعده های غذایی آماده به دلایل متعددی از قبیل کاهش تعرفه ها، بهبود مستمر در حمل و نقل، پیشرفت در ارتباطات و فناوری اطلاعات و ارتقای سیستم های زنجیره سرد در حال گسترش است. همچنین آگاهی مصرف کنندگان از ایمنی مواد لبنی و مقررات ایمنی، نیروهای محرک اصلی در پس زمینه توسعه ی زنجیره سرد هستند. مطالعات زیادی در مورد بخش های مختلف زنجیره سرد و کیفیت و ایمنی مواد لبنی فاسدشدنی انجام شده است که در ادامه به بیان تعدادی از آن ها پرداخته می شود.

آرامیان و همکاران در سال ۲۰۰۷، شاخص های عملکردی برای زنجیره عرضه سرد که در آن شاخص های کمی و کیفی مانند رضایت مشتری و بازگشت سرمایه و ... ارائه شده است را مورد مطالعه قرار داده اند [۱].

رونک و گرونو در سال ۲۰۱۰ به بررسی مسأله مدیریت امنیت مواد لبنی پرداخته اند. ایده ی آن ها این است که هر چه دسته های تولید کوچک تر باشند، مشکلات ایمنی غذایی کاهش پیدا می کند اما از سوی دیگر بازده تولید هم کاهش می یابد [۲].

وسایل نقلیه استفاده کرد. همچنین چون مسیر حمل و نقل از قبل مشخص نیست، می توان بهترین مسیر را انتخاب کرد که منجر به کاهش تعداد وسایل نقلیه مورد استفاده می شود. همچنین مسافت پیموده شده توسط کل وسایل نقلیه مورد استفاده را کاهش داده و در نتیجه هزینه ی مصرف سوخت را کاهش می دهد.

در نهایت استفاده از این سیستم توزیع منجر به کاهش هزینه ها (شامل هزینه ی حمل و نقل، هزینه ی نیروی انسانی، هزینه ی هندلینگ و ...) می شود، همچنین باعث بهبود در عملکرد زنجیره سرد شده و خدمات توزیع در این زنجیره را آسان می کند.

### ۱-۲- اهداف کاربردی

با پیاده سازی این سیستم توزیع پویا، یک طرح شبکه توزیع مناسب شامل عواملی نظیر کاهش هزینه، ارزش افزوده بالاتر و افزایش سطح خدمت به مشتری و در نتیجه رضایت مشتری به وجود می آید. با توجه به توضیحات فوق اهداف کاربردی این مطالعه شامل موارد زیر است:

۱) ارتقای مدل های زنجیره سرد و بهبود عملکرد آن ها

۲) تسهیل خدمات توزیع در زنجیره سرد

۳) صرفه جویی در هزینه ها شامل هزینه های توزیع، هندلینگ و نیروی انسانی

۴) مقابله با چالش تحویل به موقع مواد لبنی

۵) انعطاف پذیری بیشتر برای ارائه خدمات به مشتریان

۶) رضایت مشتریان ناشی از دریافت به موقع مواد لبنی

۷) کاهش زمان هندلینگ و حمل و نقل

۸) افزایش سطوح خدمات به مشتریان

این رویکرد و مطالعه می تواند مورد استفاده ی سرمایه گذاران و تمامی ارائه دهندگان خدمات توزیع در زنجیره سرد به منظور کاهش هزینه ها، ارزش افزوده بالاتر و افزایش سطح خدمت به مشتری قرار گیرد.

### ۱-۳- فرض ها و فرضیه های تحقیق

بیان مسأله به صورت کلی باعث می شود که به صورت دقیق و جزئی به حل مسأله پرداخته نشود، پس باید مسأله را با در نظر گرفتن فرض هایی کوچک کرد؛ بنابراین فرض های این مطالعه به شرح زیر می باشند:

فرض ها:

*Archive of SID*

حالت‌های حمل‌ونقل بوده که به بررسی تولید و توزیع محصولات تازه‌ی بسته‌بندی شده پرداخته‌اند. بعد از بسته‌بندی محصولات نوع حمل‌ونقل (کامیون، راه‌آهن و یا هوایی) انتخاب می‌شود. نویسندگان همچنین در مدل ایجاد شده زوال کیفیت محصول را هم از نقطه‌نظر 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.

مساله CVRP یا مساله 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 مساله به‌طور کلی 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 مساله با استفاده از الگوریتم‌های فرا ابتکاری می‌پردازد، اشاره شده است.

گانندی و همکاران در سال ۱۹۷۱، ساده‌ترین نسخه از مساله CVRP را مساله فروشنده دوره‌گرد ( $TSP^c$ ) دانسته‌اند زیرا در این مساله 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 [۱۰، ۱۱]. اگرچه مساله  $TSP$  فقط یک حالت بسیار ساده از مسائل CVRP محسوب می‌شود اما روند و نتایج تحقیقات بر روی این مساله مستقیماً بر روی مسائل CVRP تأثیر گذاشته است. باید توجه داشت که در ابتدا برای حل این مساله 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 مساله  $TSP$  یک مساله سخت محسوب می‌شود و روشی دقیق که بتواند در حالت کلی و در یک زمان قابل قبول به جواب بهینه برسد، وجود ندارد [۱۰].

در سال‌های اخیر برای حل مساله  $VRP^s$  توجه بیشتری به استفاده از الگوریتم کلونی مورچگان شده است. این الگوریتم بعدها در سال

در مطالعه‌ای بروکمولن و همکاران در سال ۲۰۰۹، روی مدلی درباره بازپرسی 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 انجام شده در زنجیره سرد مربوط به مساله ی توزیع در زنجیره سرد با استفاده از سیستم توزیع سنتی است که با کمک انواع الگوریتم‌های ابتکاری و فرا ابتکاری به حل این مساله 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 خواسته شده 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 تجزیه و تحلیل دو شبکه توزیع ممکن طراحی شده 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 زنجیره 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 زوانلا 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 ارائه شده روی مینیمم کردن هزینه‌ها است [۷].

همچنین تمرکز هیومادا و ویلایس در سال ۲۰۰۹ روی انتخاب

## Archive of SID

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 می دهد که یک راه حل سازگار با محیط زیست، استفاده از سیستم توزیع دو پله به جای سیستم توزیع تک پله است که باعث کاهش هزینه های عملیاتی نیز می شود [۱۵].

در سال ۲۰۱۶ اکسپوسیتور و همکاران، برای حل مسأله مسیریابی وسایل نقلیه ظرفیت دار خوشه بندی شده، یک رویکرد راه حل دوسطحی ارائه دادند. مسأله مسیریابی وسایل نقلیه ظرفیت دار خوشه بندی شده با هدف تعیین مسیرها از ناوگان های وسایل نقلیه ظرفیت دار به دست مشتری است. معیار بهینه سازی مینیمم کردن هزینه های 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 خوشه بندی شده توسعه داده شده است. از آن جا که این مسأله یک مسأله NP-Hard است، یک رویکرد راه حل 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 زیر مسأله کمک به پیدا کردن سفارش های برآورده شده مشتریان برای هر خوشه است. روش های دقیق و ترکیبی برای این زیر مسأله در نظر گرفته شده است. نتایج محاسباتی نشان می دهد که الگوریتم ارائه شده کارایی بالایی دارد [۱۶].

در سال ۲۰۱۵ چن و همکاران، یک الگوریتم رفت و برگشت (SA<sup>۱۰</sup>) دومرحله ای ترکیبی را برای حل مسأله مسیریابی وسایل نقلیه ظرفیت دار استفاده کرده اند. در این تحقیق برای حل این مسأله از الگوریتم رفت و برگشت دومرحله ای ترکیبی و جستجوی حریم استفاده شده است که هدف آن به حداقل رساندن هزینه های خدمت رسانی به همه مشتریان است. نتایج نشان می دهد که روش پیشنهادی مؤثر است و هزینه ها را کاهش می دهد [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 هزینه های استفاده شده است. نتایج نشان می دهد که این الگوریتم و این رویکرد سریع تر 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

۲۰۰۲ توسط درنر و همکاران با ترکیب آن با روش ابتکاری بهبود داده شد. همچنین ریمان 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 صرفه جویی 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 ACS<sup>v</sup>، IISWD<sup>e</sup>، LSHA<sup>h</sup> و POHA<sup>g</sup> استفاده کرده اند. در دو الگوریتم ACS و IISWD، ویژگی ها و تنظیمات جدیدی معرفی شده است که اثربخشی الگوریتم های پیشنهادی را برای بهینه سازی مسأله مسیریابی وسایل نقلیه ظرفیت دار بهبود می دهد. روش های ترکیبی LSHA و POHA، باعث ایجاد مزایای ACS و IISWD در کاوش فضای راه حل شده اند. این الگوریتم ها کنترل تعادل میان پویا و انتفاع فرآیند جستجو را افزایش می دهد. در این تحقیق به ارائه برخی آزمون های آماری برای مقایسه جامع بین الگوریتم متاکتشافی پیشنهادی و سایر الگوریتم ها پرداخته اند و نتایج نشان می دهد که الگوریتم ارائه شده به طور خاص بهترین راه حل 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 کرده اند. 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 پیشنهاد شده شامل یک ماژول بهینه سازی مسیر، یک ماژول اجرای ارتباطات با خارج از سیستم، یک پایگاه داده ای غیر رابطه ای برای ذخیره سازی اطلاعات مربوط به روش های بهینه سازی و یک زیرسیستم وابسته به نقشه کشی است. معماری پیشنهاد شده توانایی مواجهه 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 مورد مطالعه قرار دادند. آن ها همچنین ملاحظات زیست محیطی را در نظر گرفتند. در استراتژی توزیع چند پله، محموله به مشتریان با استفاده از انبارهای میانی به جای استفاده از حمل و نقل مستقیم تحویل داده می شود و یک استراتژی محبوب در لجستیک شهری است. این موضوع اولاً بر عملیات توزیع و کاهش عواقب زیست محیطی (مثل انرژی استفاده شده 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

**Archive of SID**

الگوریتم CSA نیز به عنوان یک روش متاهوریستیک که از رفتار شکار برای غذای کلاغ‌ها الهام گرفته شده است، استفاده می‌کند. این مطالعه در شرایط پویا، نتایج محاسباتی را با زمان محاسباتی قابل قبول نشان می‌دهد و به طور عمده به دلیل افزایش تعداد مشتریان، فاصله مسیر بهینه افزایش می‌یابد [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 مسأله مورد مطالعه 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

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 متاکتشافی 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 مطالعه‌ای ۵ نقطه امن برای حل CVRP که در زمان چند جمله‌ای حل می‌شود، در نظر گرفته‌اند که دو مورد آن جدید است. به علت اینکه CVRP یک مسأله‌ی NP-Hard است آن‌ها چند نقطه امن قدیمی و جدید در نظر گرفته‌اند که براساس نسل پایه یا column generation ایجاد و در زمان چندجمله‌ای حل می‌شود که قوی‌ترین 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 مطالعه‌ای با استفاده از الگوریتم کلونی مورچگان در مسئله مسیریابی وسایل نقلیه ظرفیت دار بهترین راه حل‌ها را برای جمع‌آوری زباله و بهینه‌سازی مسیر پیشنهاد دادند. که این مدل بهترین مجموع ضایعات و بهترین مسیر را از نظر فاصله سفر، کارایی، کاهش هزینه و کاهش سوخت نشان می‌دهد. مدل پیشنهادی بهینه شده می‌تواند به عنوان یک ابزار ارزشمند برای جمع‌آوری زباله و بهینه‌سازی مسیر در جهت کاهش اثرات اجتماعی و اقتصادی و زیست محیطی عمل کند [۲۲].

سانگ و همکاران در سال ۲۰۱۸ در مطالعه‌ای با بیان اینکه الگوریتم کلونی مورچگان دارای مزیت‌های خاصی در CVRP است همچنین اعلام کرده‌اند که این الگوریتم مستعد بهینه‌سازی محلی و مشکلات سرعت در جستجوی سریع است. آن‌ها برای حل این مشکل در این مقاله از یک الگوریتم بهینه‌سازی کلونی مورچه ترکیبی استفاده کرده‌اند که ترکیبی از الگوریتم GA (برای تنظیم ماتریس فرمون و طراحی یک استراتژی تنظیم میزان سرعت تبخیر فرمون) و استراتژی جستجوی محلی (برای کاهش محاسبات) است [۲۳].

دهانیا و همکاران در سال ۲۰۱۸ با استفاده از ترکیب الگوریتم جستجوی کلاغ‌ها (CSA) و الگوریتم کلونی مورچگان (ACO) به حل مشکل مسیریابی ظرفیت دار پرداخته‌اند که در آن از ACO که یک روش متاهوریستیک است برای یافتن کوتاه‌ترین مسیر از مبدا به مقصد (با استفاده از مسیرهای فرمون) و همچنین از

## Archive of SID

مورچه اصلاحی استفاده خواهد شد. در ابتدا با اعمال الگوریتم کلونی مورچه پیشنهادی بر روی بخشی از داده های جمع آوری شده پارامترهای کنترلی آن را تنظیم نموده و سپس با اعمال الگوریتم بر روی کل نمونه ها، مقادیر معیارهای کارآیی بدست آمده با مقادیر موجود در مدل توزیع سنتی فعلی [شرکت پگاه استان قزوین] مورد مقایسه قرار می گیرد.

### ۴-۱- نسخه های توسعه یافته ی الگوریتم کلونی مورچه گان

از الگوریتم کلونی مورچه گان توسعه های متعددی در ادبیات موضوع وجود دارد. اولین نسخه توسعه یافته از الگوریتم ACO، الگوریتم سیستم مورچه گان (AS) است که توسط دوریگو ارائه شد، این الگوریتم که یکی از مهم ترین الگوریتم های فراابتکاری در زمان خود بوده است، از غذایابی کلونی مورچه های واقعی الهام گرفته شده است به طوری که وظیفه اصلی هر مورچه مصنوعی مانند همتای طبیعی خود، یافتن کوتاه ترین مسیر بین یک جفت گره در یک گراف است. بنابراین مسأله به زیر مسأله هایی تبدیل می شود که در آن مورچه های مصنوعی وظیفه دارند که انتخاب گره بعدی ز را از گره جاری  $i$  بر اساس فرمولون ریخته شده روی یال  $(i, j)$  و  $(t_{ij})$  و عکس فاصله یال  $(i, j)$  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.

$$P_{ij}^k = \begin{cases} \frac{\tau_{ij}^\alpha \eta_{ij}^\beta}{\sum_{j \in N_i} \tau_{ij}^\alpha \eta_{ij}^\beta} & \text{if } j \in N_i \\ 0 & \text{if } j \notin N_i \end{cases} \quad (1)$$

در این فرمول پارامترهایی مانند  $\alpha$  و  $\beta$  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  $Dt_{ij}$ ، فرمولون محلی روی یال مربوطه طبق رابطه ۲ می ریزند.

$$\tau_{ij}(t) \leftarrow \tau_{ij}(t) + \Delta \tau_{ij} \quad (2)$$

به علاوه الگوریتم مانند نسخه طبیعی آن و برای اجتناب از همگرایی سریع همه مورچه ها به یک مسیر زیر بهینه، از مکانیزم تبخیر فرمولون استفاده می کند. یعنی غلظت فرمولون به طور خودکار و در هر تکرار با ضریب  $1 - \rho$  کاهش می یابد که در آن  $\rho$  پارامتری تنظیم شده به وسیله کاربر است. به عبارت دیگر اگر  $t$  ماتریس فرمولون موجود بر روی یال های گراف مربوطه باشد، آنگاه در هر تکرار به وسیله رابطه ۳ بروز می شود.

$$\tau \leftarrow (1 - \rho) \tau \quad (3)$$

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 می کند 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 سیستم های توزیع سنتی مسیریابی وسیله نقلیه ظرفیت دار بدین صورت انجام می گیرد که به هر منطقه یک وسیله نقلیه مختص همان منطقه اختصاص داده می شود و آن وسیله نقلیه وظیفه دارد که فقط برای مشتریان همان منطقه سرویس دهی نماید. در این صورت ممکن است حجم سفارش های 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 حمل و نقل، نیروی انسانی و مجموعه ای از هزینه های ثابت می گردد. به عبارتی می توان 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 حمل و نقل سنتی دارای نقاط ضعف بسیاری است. از جمله مسیریابی که توسط هر وسیله نقلیه باید در طول روز پیموده شود، از قبل مشخص و ثابت است. این موضوع انعطاف پذیری سیستم توزیع را به حداقل می رساند. همچنین ممکن است ظرفیت بارگیری وسیله نقلیه برای یک مسیر کامل نباشد ولی به دلیل ثابت بودن مسیرها امکان بارگیری سفارش های مربوط به مسیرهای دیگر وجود نداشته باشد، به همین علت از نیروی انسانی و وسایل نقلیه حداکثر استفاده را نمی توان برد و باعث افزایش هزینه های عملیاتی می شود. از طرفی با توجه به اینکه مسیرهای بهینه برای رساندن کالا به مشتریان انتخاب نمی شود و فقط از یک مسیر خاص استفاده می شود، باعث افزایش هزینه ی سوخت و حمل و نقل در این سیستم توزیع می شود.

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

### ۴- روش حل مسئله

در این مطالعه از نرم افزار متلب برای پیاده سازی الگوریتم کلونی



## Archive of SID

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 بدین صورت است که مورچه تولیدکننده بهترین جواب، بتواند در هر تکرار الگوریتم، مسیر خود را فرومون ریزی کند. به عبارت دیگر 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 AS تمام 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. در نتیجه الگوریتم برای مسایل نسبتاً بزرگ، کارایی خود را از دست می‌دهد. به عبارت دیگر 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 چه بسا 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 در صورتی که 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

اولین مسأله‌ای که با AS حل شد، مسأله فروشنده دوره‌گرد بود زیرا به راحتی 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 مورد استفاده 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 به دست آمده ( $T^*$ ) که دارای بهترین مقدار  $L^{gb}$  است، در هر تکرار بر اساس رابطه ۴ با ضریب ثابت  $e$  فرومون ریزی شوند.

$$\Delta\tau_{ij}^{gb} = \begin{cases} \frac{e}{L^{gb}(t)} & (i, j) \in T^* \\ 0 & (i, j) \notin T^* \end{cases} \quad (4)$$

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 یال‌ها ریخته می‌شود. بنابراین، فرمول بروزرسانی کلی فرومون در عبارت eas است از:

$$\tau_{ij}(t+1) = (1-\rho)\tau_{ij}(t) + \sum_{k=1}^m \Delta\tau_{ij}^k(t) + \Delta\tau_{ij}^{gb}(t) \quad (5)$$

که در آن:

$$\Delta\tau_{ij}^k(t) = \begin{cases} 1/L^k(t) & (i, j) \in T^k \\ 0 & (i, j) \notin T^k \end{cases} \quad (6)$$

$T^k$ : مجموعه یال‌هایی 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 می‌شود که مورچه‌ها در حین اینکه بین گره  $I$  و  $J$  حرکت می‌کنند، مقداری فرومون به اندازه  $1/L^k(t)$  که تاکنون پیموده‌اند ( $1/L^k(t)$ ) را روی یال مربوطه می‌ریزند.

## Archive of SID

هر تکرار مورد استفاده قرار می گیرد و از فرامون ریزی تنها برای بهترین جواب بدست آمده اجتناب می شود. باید توجه داشت که این کار سبب می شود که الگوریتم با تنوع بیشتری به دنبال جواب بهینه بگردد. تشویق بهترین جواب های هر تکرار که نقش بهینه محلی را بازی می کنند، سبب می شود 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. در نتیجه الگوریتم در یک بهینه محلی به راحتی به دام می افتد.

(۳) مقدار ضریب ثابت در تشویق بهترین مسیر تاکنون به دست آمده در الگوریتم eas که e در نظر 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 چند جمله ای  $k^2$  برای تشویق بهترین مسیر و  $-k^2$  برای تنبیه بدترین مسیر در هر تکرار (k در ابتدا 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 فرامون ریخته شده تأثیر کمتری بر روی انتخاب مسیرها 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 فرامون بیشتری را جذب می کنند و یال های متعلق به بدترین جواب فرامون بیشتری را از دست می دهند.

(۴) برای کارایی الگوریتم کلونی مورچه اصلاحی به منظور

سبب می گردد 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 رفته رفته با افزایش تکرارها و ریختن فرامون توسط مورچهها دقت جوابها افزایش پیدا می کند. بنابراین، ضریب ثابت e نیز نمی تواند 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، نمی گذارد.

۴. علی رغم اینکه الگوریتم EAS از کارایی بسیار خوبی برای جستجوی سراسری فضای شدنی برخوردار است اما باین حال نمی تواند از قدرت خوبی برای جستجوی محلی نیز برخوردار باشد. زیرا دارای راهکاری برای جستجوی محلی جوابها نیست به خصوص در زمانی که بهترین جواب الگوریتم در تکرار حاضر ارتقا یافته است زیرا به احتمال بالا در همسایگی های آن، جوابهای بهتری نیز یافت می شود.

### ۴-۲- الگوریتم کلونی مورچه اصلاحی

به دلیل معایب موجود در نسخه های قبلی و با توجه به اینکه مسأله مسیریابی وسایل نقلیه ظرفیت دار و توسعه های آن، یکی از مهم ترین و پر کاربردترین مسائل NP-hard معرفی شده است که به طور وسیع در مسائل بهینه سازی 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 به صورت زیر تشریح می گردد:

(۱) در الگوریتم کلونی مورچه اصلاحی از فرامون ریزی محلی استفاده نمی شود و الگوریتم فقط از فرامون ریزی سراسری برای راهنمایی مورچه های بعدی استفاده می کند. باید توجه داشت که فرامون ریزی محلی سبب انحراف الگوریتم از یال های متعلق به بهترین مسیر می شود و باعث می گردد یال هایی که حتی در همسایه های بهترین جواب وجود ندارند، دارای فرامون اضافی شوند. در نتیجه الگوریتم کارایی خود را برای رسیدن به یال های متعلق به مسیرهای مستعدتر و فرامون ریزی آنها از دست می دهد.

(۲) فرامون ریزی سراسری برای بهترین و بدترین جواب در

## ۵- آزمایش‌ها، ارزیابی و تحلیل نتایج

## ۵-۱- تجزیه و تحلیل نتایج

در این بخش، نتایج اعمال الگوریتم کلونی مورچه اصلاحی در سیستم توزیع پیشنهادی ارائه می‌گردد. الگوریتم مربوطه به وسیله 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 جمع‌آوری شده در شرکت پگاه قزوین است. روش جمع‌آوری اطلاعات در این شرکت به صورت میدانی بوده و با بهره‌گیری از کارشناسان خبره این جمع‌آوری به انجام رسیده است. بازه‌ی 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 حمل و نقل 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)

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 فرمون بر روی یال‌های متعلق به بدترین مسیر به یک مقدار منفی دست پیدا نکنند یک کران پایین برای مقدار فرمون بر روی یال‌ها در نظر گرفته می‌شود به طوری که اگر مقدار فرمون بر روی یال‌ها از این مقدار کمتر شد آن گاه این کران پایین جایگزین مقدار به دست آمده می‌شود. در اینجا مقدار این کران پایین نصف مقدار فرمون ابتدایی در نظر گرفته می‌شود (باید توجه کرد که در ابتدای الگوریتم بر روی همه‌ی یال‌ها  $u=0.1$  مقدار فرمون ریخته می‌شود).

(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  $m$  مورچه از گره‌های تصادفی به‌غیر از 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 فرمون ریزی سراسری قرار می‌گیرند.

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

۹۰-۱۰	۸۰-۲۰	۷۰-۳۰	۶۰-۴۰	۵۰-۵۰	
13	13	13	13	13	تعداد وسایل نقلیه استفاده شده
455757.4 249	457958.9 219	485416.2 384	519138.4 706	462916.8 826	مسافت پیموده شده
291.5428	291.6598	305.9999	330.8964	294.9608	هزینه نهایی انرژی

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

۹۰-۱۰	۸۰-۲۰	۷۰-۳۰	۶۰-۴۰	۵۰-۵۰	
8	6	9	7	6	تعداد وسایل نقلیه استفاده شده
438899.2 483	409021.4 217	427455.0 798	440753.0 869	404140.0 395	مسافت پیموده شده
279.5163	275.7226	280.1834	301.689	283.2169	هزینه نهایی انرژی

برای حالت ایستا به‌صورت ثابت در نظر گرفته شده است.

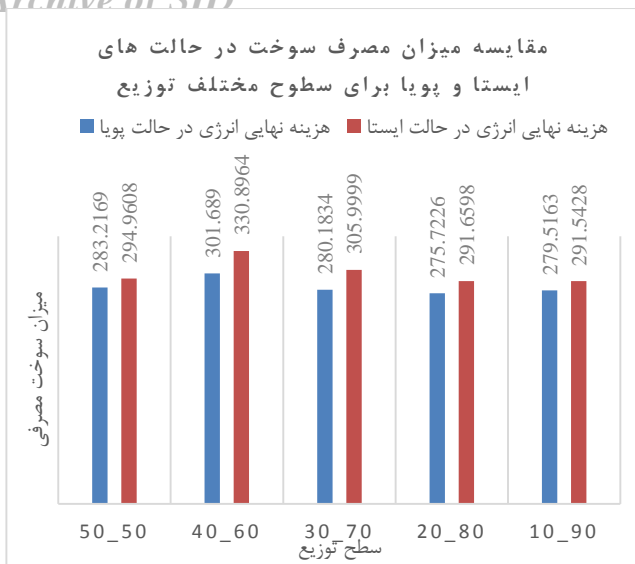
همچنین هزینه‌ی هر نیروی انسانی ۲۰ میلیون ریال به‌صورت ماهانه در نظر گرفته شده و به ازای هر وسیله نقلیه به یک نیروی انسانی احتیاج است. هزینه‌ی سوخت نیز برای هر یک لیتر ۱۰ هزار ریال در نظر گرفته شده است.

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

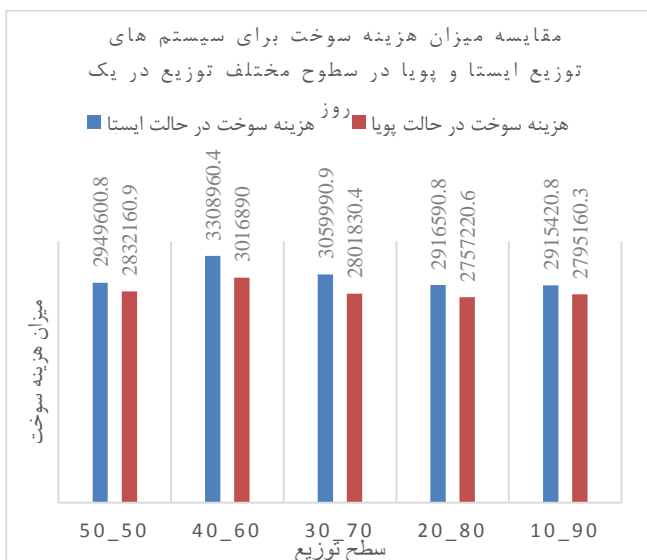
جدول ۲ مشاهده می‌شود، در سیستم توزیع پویا در سطوح مختلف توزیع تعداد وسایل نقلیه، مسافت پیموده شده و هزینه نهایی انرژی نسبت به حالت ایستا کمتر است. در ادامه با ارائه نمودارهای مقایسه‌ای برای سیستم‌های توزیع ایستا و پویا نشان داده خواهد شد که بیشترین بهبود در سطوح توزیع ۵۰-۵۰ و ۲۰-۸۰ و کمترین بهبود در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



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

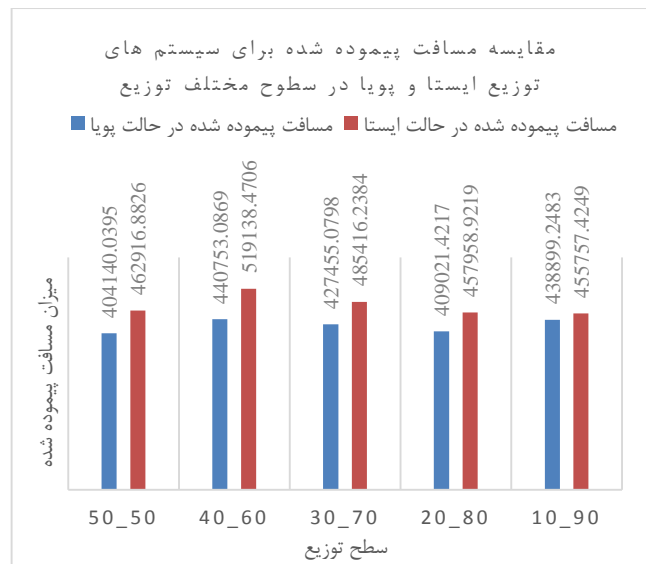
سطوح مختلف توزیع میزان مصرف سوخت در حالت پویا کمتر از حالت ایستا است که بیانگر کاهش هزینه ها و کاهش میزان آلاینده های هوا است.

میزان هزینه ی مصرف سوخت در یک روز در نمودار ۳، برای سیستم های توزیع ایستا و پویا باهم مقایسه شده اند. همان طور که قابل مشاهده 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 سیستم های توزیع ایستا و پویا در سطوح مختلف توزیع در یک روز

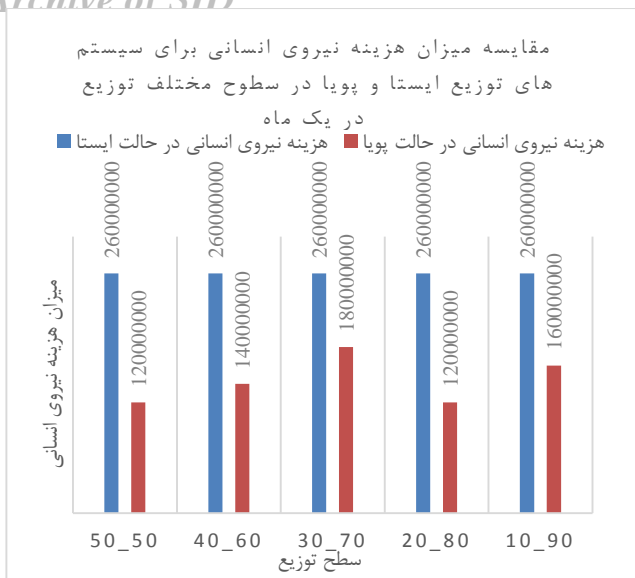
نمودار ۴ به مقایسه ی تعداد وسایل نقلیه استفاده شده در سطوح مختلف توزیع، در یک روز کاری برای حالت های ایستا و پویا پرداخته است.



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

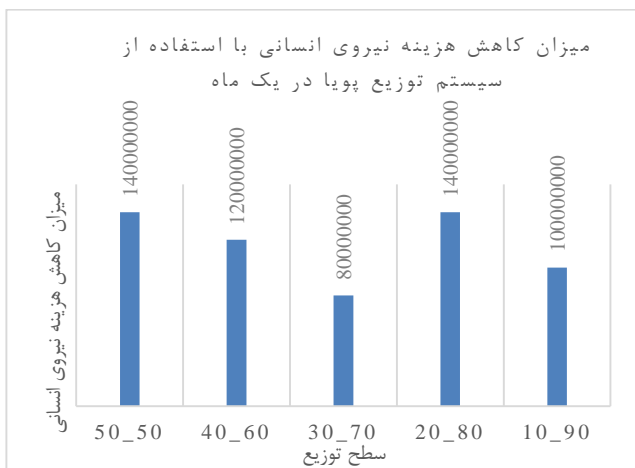
اختلاف مسافت پیموده شده بین سیستم های توزیع ایستا و پویا در سطح توزیع ۵۰-۵۰، ۵۸۷۷۷ متر، سطح توزیع ۴۰-۶۰، ۷۸۳۸۵ متر، سطح توزیع ۳۰-۷۰، ۵۷۹۶۱ متر، سطح توزیع ۲۰-۸۰، ۴۸۹۳۸ متر و در نهایت در سطح توزیع ۱۰-۹۰، ۱۶۸۵۸ متر است. با توجه به نتایج اختلاف مسافت های پیموده شده در سیستم توزیع ایستا و پویا در سطوح مختلف، 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 می توان 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 آن ها، بهترین مسافت پیموده شده را نسبت به سطوح دیگر دارد.

نمودار ۲ مقایسه ای از میزان مصرف سوخت برای تحویل سفارش ها به مغازه ها با استفاده از سیستم توزیع ایستا و پویا برای سطوح مختلف توزیع را در یک روز ارائه داده است. اختلاف میزان مصرف سوخت بین سیستم های توزیع ایستا و پویا به طور 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 در نهایت 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 می توان نتیجه گرفت که سیستم توزیع پویا در این سطح توزیع، بهترین میزان سوخت مصرفی را نسبت به سطوح دیگر دارد. با این حال در



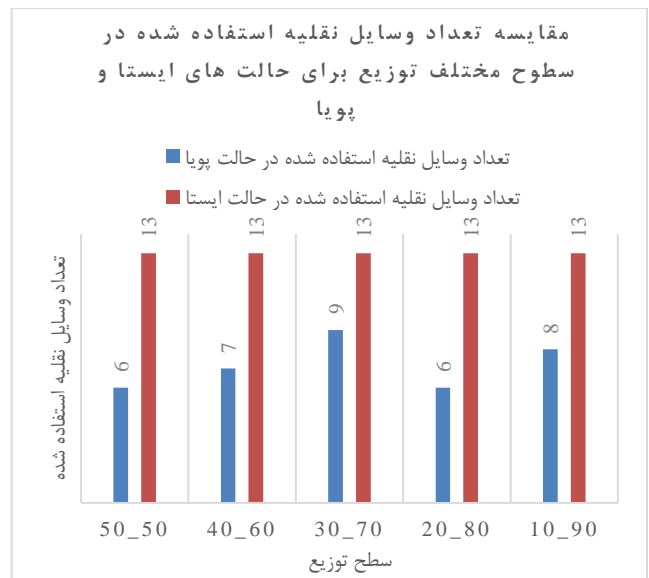
نمودار ۵: مقایسه میزان هزینه نیروی انسانی برای سیستم های توزیع ایستا و پویا در سطوح مختلف توزیع در یک ماه

این دو سطح با کاهش تعداد وسایل نقلیه از ۱۳ عدد (در سیستم توزیع ایستا) به شش عدد (در سیستم توزیع پویا) باعث کاهش هزینه ی نیروی انسانی شده است. در واقع با حذف هفت عدد وسیله نقلیه، هزینه ی هفت نیروی انسانی که معادل ۱۴۰ میلیون ریال است را حذف نموده است. همچنین سطح توزیع ۴۰-۶۰ نیز به میزان قابل توجهی هزینه های نیروی انسانی را با اختلاف کمی با سطوح توزیع ۵۰-۵۰ و ۲۰-۸۰ کاهش می دهد.



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

میزان کاهش هزینه ها در هر سیستمی در طولانی مدت نمایان می شود؛ بنابراین هدف از ارائه نمودار ۷ نمایش میزان کاهش هزینه های نهایی بخش توزیع از زنجیره عرضه سرد با استفاده از سیستم توزیع پویا در طولانی مدت (یک سال) است.



نمودار ۴: مقایسه تعداد وسایل نقلیه استفاده شده در سطوح مختلف توزیع برای حالت های ایستا و پویا

همان طور 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 می دهد، 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 می دهد؛ بنابراین تعداد وسایل نقلیه در سطوح توزیع ۵۰-۵۰ و ۲۰-۸۰ به پایین ترین سطح ممکن رسیده است و نسبت به سطوح توزیع دیگر بهتر است؛ بنابراین اگر حجم سفارش های توزیع شده بین فروشگاه ها یکسان باشد یا به صورتی باشد که ۸۰ درصد سفارش ها به ۲۰ درصد فروشگاه ها و ۲۰ درصد باقیمانده به ۸۰ درصد فروشگاه ها اختصاص یابد، تعداد وسایل نقلیه به بهترین حالت ممکن می رسد.

با توجه به توضیحات فوق تعداد وسایل نقلیه در سیستم توزیع پویا به میزان چشمگیری نسبت به وسایل نقلیه استفاده شده در سیستم توزیع ایستا کاهش یافته است، بنابراین به تعداد کاهش وسایل نقلیه در سیستم توزیع پویا، تعداد نیروی انسانی نیز کم می شود که این پدیده همانگونه که در نمودار ۵ قابل مشاهده می باشد باعث کاهش چشمگیری در هزینه های نیروی انسانی در کوتاه مدت و طولانی مدت می شود.

نمودار ۶ میزان کاهش هزینه ی نیروی انسانی با استفاده از سیستم توزیع پویا را در یک ماه نشان می دهد.

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

## Archive of SID

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 با کیفیتی دست پیدا کند.

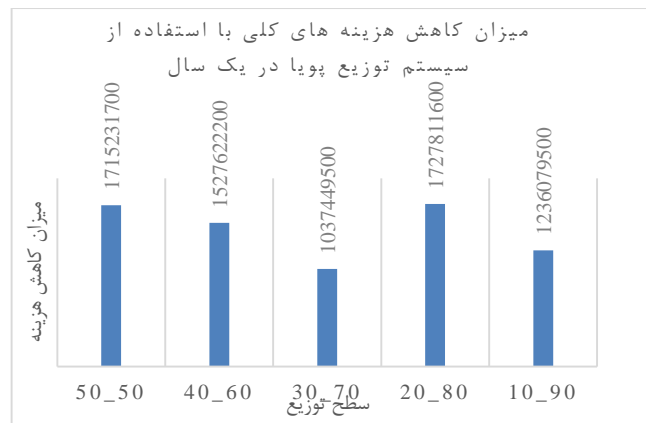
با توجه به نتایج آزمایش‌ها می‌توان نتیجه گرفت که این سیستم توزیع فاقد انعطاف‌پذیری است زیرا تعداد وسایل نقلیه در سیستم توزیع ایستا ثابت بوده و مسیرها از قبل مشخص است، بنابراین عمدتاً وسایل نقلیه به‌طور کامل بارگیری نمی‌شوند و دارای ظرفیت خالی هستند. در سیستم توزیع جدید با ارائه‌ی یک سیستم توزیع پویا 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 در نتیجه 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 بر گرفتن سایر معیارهای مرتبط با رضایت‌مندی مشتری از قبیل افزودن پنجره‌های زمانی و تخصیص موعد سررسید می‌باشد.

با توجه به این که 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



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 سهم 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، با این حال 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 قابل توجه 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 محدوده‌ی کوچکی از شهر قزوین انجام شده است و در صورت بسط این مطالعه به تمام محدوده‌های شرکت پگاه قزوین و یا حتی شهرهای دیگر، به میزان بسیار زیادی می‌توان در هزینه‌ها صرفه‌جویی 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

- [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.

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*

## پاورقی‌ها:

<sup>1</sup> Capacitated Vehicle Routing Problem

<sup>2</sup> Supply chain management (SCM)

<sup>3</sup> Cold Chain Management

<sup>4</sup> Traveling Salesmen Problem

<sup>5</sup> Vehicle Routing Problem

<sup>6</sup> Improved intelligent water drops

<sup>7</sup> Advanced cuckoo search

<sup>8</sup> Local search hybrid algorithm

<sup>9</sup> Post-optimization hybrid algorithm

<sup>10</sup> Sweep Algorithm