

# حل مسأله مسیریابی وسایل نقلیه پخش و توزیع دارو در سطح شهر تبریز با پنجره زمانی توسط الگوریتم فراابتکاری خفاش

## مقاله پژوهشی

محمدرضا اسداللهی، گروه مهندسی صنایع، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد بناب، بناب، ایران  
علی درخشان اصل، استادیار، گروه مهندسی صنایع، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد بناب، بناب، ایران  
مهدی یوسفی نژاد عطاری\*، استادیار، گروه مهندسی صنایع، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد بناب، بناب، ایران  
ویدا کرباسی بناب، دانش آموخته کارشناسی ارشد، گروه مهندسی صنایع، دانشکده مهندسی صنایع و مکانیک، واحد قزوین،  
دانشگاه آزاد اسلامی، قزوین، ایران

\*پست الکترونیکی نویسنده مسئول: mahdi\_108108@yahoo.com

دریافت: ۹۸/۱۱/۰۸ - پذیرش: ۹۸/۰۵/۰۵

صفحه ۱۶۷-۱۵۱

### چکیده

مطالعات زیادی بر روی چگونگی مدل کردن انواع مسأله، توسعه فرضیات مسأله برای تطبیق با شرایط کاربردی در دنیای واقعی و همچنین ایجاد یا توسعه روش‌های حل مسأله به منظور کسب نتایج بهتر صورت گرفته است. در این مقاله در نظر داریم جهت حل مسأله مسیریابی وسایل نقلیه با پنجره زمانی، از الگوریتم خفاش تک هدفه برای فرآیند توزیع دارو در سطح کلانشهر تبریز استفاده نماییم. با توجه به ماهیت پیوسته الگوریتم فراابتکاری، نحوه تولید و رمزگشایی، جواب جدیدی برای مسیریابی طراحی می‌نماید که کوتاه‌ترین مسیر حمل و نقل در کم‌ترین زمان ممکنه را سبب می‌گردد. در این راستا، نحوه توزیع دارو توسط شرکت پخش محیادارو که یک شرکت تجاری - خدماتی (غیرفناوری) بوده، مد نظر قرار گرفته است. جهت ارزیابی عملکرد روش پیشنهادی، مسائلی با ابعاد مختلف براساس مسائل واقعی مربوط به انتقال داروها به داروخانه‌های موجود در سطح شهر تبریز که توسط شرکت محیادارو صورت می‌گیرد به کار گرفته شده است. نتایج حاکی از این موضوع است که مسیریابی بهینه با توجه به ماهیت بهینه‌سازی الگوریتم فراابتکاری صورت گرفته و هزینه‌های صرف شده برای این کار در مقایسه با کارهای مشابه قبلی به میزان قابل توجهی کاهش یافته است.

واژه‌های کلیدی: الگوریتم خفاش، کوتاه‌ترین مسیر، محیادارو، مسیریابی

### ۱- مقدمه

باشد. عوامل مختلفی بر انتخاب مسیر حرکت بهینه تأثیرگذار بوده و مسیریابی تحت اثر این واقعیت است که هیچ عامل واحدی علت انتخاب مسیر نمی‌باشد. این عوامل در انتخاب مسیر حرکت و بخش‌هایی از آن کاربرد دارند. پیچیدگی یا عدم وجود بهره‌وری کافی می‌تواند یک عامل مهم در بهینه‌سازی اهداف باشد. در این شرایط یک تناقض با اهداف دیگر شرکت‌کننده‌ها

مسیریابی به طور کلی فرآیندی برای انتخاب بهترین مسیر است و نقش مؤثری در تبادلات ترافیکی در یک شبکه و یا سیستم را دارد. مسأله مسیریابی وسایل نقلیه نیز نوعی از مسیریابی است که در آن وسایل متحرک در مسیرهای جاده‌ای و مسیرهای شهری مورد بررسی قرار می‌گیرند و هدف از این بررسی ارائه یک مسیر بهینه برای تردد بوده که دارای کم‌ترین هزینه و بیشترین کارایی

ساختار بقیه مقاله به این شرح است: در بخش ۲، یک مرور کلی از کارهای قبلی در حوزه مسأله مسیریابی وسایل نقلیه، ارائه شده است و در بخش ۳، یک مدل ریاضی همراه با نمادها و فرضیات برای مسأله مسیریابی وسایل نقلیه با پنجره زمانی ارائه می‌گردد. در بخش ۴، یک الگوریتم فراابتکاری تک هدفه خفاش برای حل مسأله پیشنهاد شده است. یک مطالعه موردی نیز در بخش ۵ با استفاده از الگوریتم فراابتکاری خفاش برای مسأله مسیریابی پخش دارو با پنجره زمانی، حل می‌گردد و سپس با استفاده از روش تاگوچی، در بخش ۶ تنظیم پارامتر می‌گردد و در نهایت، نتیجه‌گیری و پیشنهاداتی برای تحقیقات آتی در بخش ۷ آورده شده است.

به وجود می‌آید. اغلب مسائل مسیریابی وسایل نقلیه، NP-Hard هستند و به نظر می‌رسد که قابل حل در زمان چندجمله‌ای نباشند. الگوریتم‌های تحقیقاتی ارائه شده برای مسیریابی وسایل نقلیه عموماً شامل روش‌های دقیق و الگوریتم‌های بهینه‌سازی هوشمند است (علی احمدی، علیرضا؛ سیدامید هاشمی امیری؛ حامد نوذری و سیدطه حسین مرتجی، ۱۳۹۱). مسأله مسیریابی وسایل نقلیه از مسایل مشهور عدد صحیح است که در دسته مسایل NP-Hard قرار می‌گیرد. پیچیدگی این مسأله مربوط به دو مسأله زیر است: مسأله فروشنده دوره‌گرد: اگر ظرفیت وسیله نقلیه نامحدود در نظر گرفته شود مسأله مسیریابی وسایل نقلیه تبدیل به مسأله چند فروشنده دوره‌گرد می‌شود.

۱. مسأله پوشش: این سوال که آیا یک جواب برای مسأله مسیریابی وسایل نقلیه امکان‌پذیر است یک مسأله پوشش است.

## ۲- پیشینه تحقیق

وسایل نقلیه وجود دارد که به طور کلی به سه دسته روش‌های دقیق، ابتکاری و فراابتکاری تقسیم‌بندی می‌شوند. روش‌های دقیق: در دهه‌های ۱۹۶۰ و ۱۹۷۰ میلادی عمده تحقیقات انجام گرفته برای حل مسأله مسیریابی وسایل نقلیه بر روی روش‌های دقیق متمرکز بود که برخی از آن‌ها عبارتند از: برنامه‌ریزی پویا، روش تبدیل مسأله مسیریابی وسایل نقلیه به مسأله فروشنده دوره‌گرد و فرمول‌بندی دو اندیسه.

برنامه‌ریزی پویا: نمونه‌ای از کاربرد برنامه‌ریزی پویا در حل مسأله مسیریابی وسایل نقلیه توسط ایلون برای m وسیله نقلیه که ظرفیت آن‌ها مشخص است، ارائه شده است. در این تحقیق با تبدیل مسأله مسیریابی وسایل نقلیه به m مسأله فروشنده دوره‌گرد جواب بهینه محاسبه می‌گردد. تبدیل مسأله مسیریابی وسایل نقلیه به مسأله فروشنده دوره‌گرد: در این روش شبکه مورد نظر با اضافه کردن چند گره و یال مجازی تبدیل به شبکه دیگری می‌شود، که شبکه به دست آمده به صورت یک مسأله فروشنده دوره‌گرد خواهد بود و با حل مسأله فروشنده دوره‌گرد می‌توان مسیرهای مورد نظر و تعداد وسایل مورد نیاز را تعیین نمود.

مسأله مسیریابی وسایل نقلیه یک مسأله بهینه‌سازی ترکیبی و برنامه‌ریزی گسسته است که هدف آن سرویس‌دهی به مشتریان با استفاده از ناوگانی از وسایل نقلیه است. مسأله مسیریابی وسایل نقلیه توسط دانتزیگ و رامسر در سال ۱۹۵۹ ارائه شده است و یک مسأله مهم در زمینه‌های حمل و نقل، توزیع و لجستیک است. هدف مسأله مسیریابی وسایل نقلیه کمینه کردن هزینه مسیر کل در انتقال کالا از ایستگاه مرکزی به سمت مشتریان است. مسأله مسیریابی وسایل نقلیه برگرفته از مسأله فروشنده دوره‌گرد یا مسأله مسیریابی قوس هست. مسأله مسیریابی وسایل نقلیه این مسأله را به شیوه‌ای توسعه می‌دهد که مجموعه‌ای از مشتریان یا ایستگاه‌ها وجود دارد و وسیله نقلیه باید از آن‌ها بازدید به عمل بیاورد و این وسیله نقلیه باید سفرش (حرکت) را در ایستگاه انبار خانگی شروع و به پایان برساند. این مسأله اصولاً بازتابی از مسائل توزیع زندگی واقعی مثلاً تحویل و سوار کردن مسافری، بسته‌های پستی، بسته‌ها و انواع مختلف کالاها است (Dantzig & Ramser, 1959). با توجه به اهداف و محدودیت‌های تعریف شده برای مسأله و در نظر گرفتن عواملی مانند زمان و هزینه‌های مورد نیاز جهت رسیدن به جواب و دقت مطلوب، روش‌های مختلفی برای به دست آوردن جواب مسأله مسیریابی

است. الگوریتم طی دو فاز مسیریابی بهینه را محاسبه می‌کند. در فاز اول با استفاده از روش‌های CPP یک مسیر اولیه ایجاد می‌شود و در فاز دوم با توجه به محدودیت‌ها مراکز تقاضا دسته‌بندی می‌شوند.

- روش‌های فراابتکاری: الگوریتم‌های فراابتکاری بسیاری در حل مسأله مسیریابی وسایل نقلیه استفاده شده که از آن جمله می‌توان به الگوریتم ژنتیک اشاره نمود. استفاده از این الگوریتم‌ها در حل مسأله مسیریابی وسایل نقلیه، توسط افراد مختلفی بررسی شده است. نتایج محاسباتی نشان دهنده کارایی بالای این روش می‌باشد. همچنین برای الگوریتم‌های تخمینی که جواب‌های تقریبی ارائه می‌کنند نیز چالش‌های زیادی انجام گرفت و بعد از اثبات NP-Hard بودن این مسائل توسط لنسترا و رینوی (Lenstra & Kan, 1981)؛ فعالیت برای یافتن الگوریتم‌های ابتکاری شدت بیشتری گرفت و از طرفی با پیشرفت‌هایی که در حل این‌گونه مسائل به وجود آمد و با در نظر گرفتن فرضیات و محدودیت‌های بیشتر و پیچیده‌تر در مسائل مسیریابی، روش‌های فراابتکاری مانند: الگوریتم ژنتیک، جستجوی ممنوعه، بهینه‌سازی کلونی مورچگان و شبیه‌سازی تبرید توسعه داده شد.

بانه و همکاران مسأله مسیریابی وسایل نقلیه چند انباره را با پنجره زمانی در نظر گرفتند و برای حل این مسأله، یک الگوریتم ژنتیک بهبود یافته ارائه کردند. آن‌ها برای یافتن جواب اولیه برای این الگوریتم از سه روش ابتکاری بهره جستند تا هزینه‌های تدارکات را با رعایت بازه زمانی تحویل کالا و ظرفیت وسایل نقلیه کمینه کنند (Bae, Hwang, Cho, & Goan, 2007). چن و همکاران یک مدل ریاضی غیرخطی پیشنهاد کردند که زمان‌بندی تولید و مسیریابی وسایل نقلیه با پنجره زمانی را برای محصولات غذایی فاسدشدنی در نظر می‌گرفت، هدف مدل آن‌ها بیشینه کردن کل سود انتظاری بود. آن‌ها در مدل ارائه شده خود، تقاضای خرده‌فروشان را احتمالی فرض کردند (Chen, Yang, & Wu, 2006). میرابی و همکاران مسأله مسیریابی وسایل نقلیه چند انباره را در نظر گرفتند و در این مسأله علاوه بر مسیریابی و زمان‌بندی، مسأله گروه‌بندی را هم مطرح کردند. آن‌ها برای حل مدل ارائه شده خود یک روش ابتکاری ترکیبی احتمالی کارا که ترکیبی از روش‌های سازنده و تکنیک‌های بهبود دهنده

فرمول‌بندی دو اندیشه: این فرمول‌بندی که توسط فیشر و جی‌کومار ارائه گردیده، مسأله تخصیص عمومی و مسأله فروشنده دوره‌گرد با محدودیت زمانی را پوشش می‌دهد. این روش ابتدا یک مسأله اصلی را برای تخصیص دادن نقاط به وسایل نقلیه حل کرده و سپس بهترین مسیر برای هر وسیله نقلیه از طریق حل یک مسأله فروشنده دوره‌گرد با پنجره زمانی به دست می‌آید (Calvo, 2000).

- روش‌های ابتکاری: مسأله مسیریابی وسایل نقلیه و فروشنده دوره‌گرد جزء مسائل NP-Hard یا NP-Complete می‌باشند و با افزایش اندازه مسأله، حجم محاسباتی روش‌های شناخته شده برای حل بهینه آن‌ها دارای رشد نمایی است، بنابراین حل بهینه مسائل واقعی با اندازه بزرگ تقریباً غیرعملی است و به ناچار باید از روش‌های ابتکاری و فراابتکاری برای محاسبه جواب قابل قبول استفاده شود.

الگوریتم صرفه‌جویی (C&W): این الگوریتم اولین بار توسط کلارک و رایت برای حل مسأله مسیریابی وسایل نقلیه با محدودیت ظرفیت و با تعداد نقاط محدود ارائه شد. این روش با ایجاد مسیرهایی که شامل مرکز و یک نقطه تقاضای دیگر است، شروع شده و در هر مرحله با توجه به بیشترین صرفه‌جویی ممکن دو مسیر با هم ترکیب می‌شود. تعداد مسیرها (وسایل نقلیه) توسط الگوریتم مشخص می‌شود ولی در صورتی که تعداد وسایل نقلیه از قبل مشخص باشد، می‌توان ترکیب مسیرها را تا جایی ادامه داد که تعداد مسیرهای موجود با تعداد مشخص شده برابر شود، حتی اگر میزان صرفه‌جویی منفی باشد (کاظمی، ابوالفضل؛ کیوان صرافها و علیرضا علی نژاد، ۱۳۹۱).

الگوریتم جارو: این الگوریتم توسط ژیل و میلر ارائه گردیده و بر اساس روش‌های دسته‌بندی مسیریابی عمل می‌کند. در این روش به مراکز تقاضا مختصات قطبی تخصیص داده می‌شود و بر اساس افزایش زاویه رتبه‌بندی می‌شوند. از مرکزی که دارای کوچک‌ترین زاویه بوده و به هیچ مسیری تعلق ندارد شروع و تا جایی که ظرفیت وسیله نقلیه اجازه دهد، مراکز به وسیله نقلیه اختصاص یافته و مسیر بهینه هر وسیله نقلیه از طریق حل مسأله فروشنده دوره‌گرد به دست می‌آید. الگوریتم مسیریابی کمانی: این الگوریتم جزء طبقه مسیریابی دسته‌بندی بوده و توسط استرن و درور در مورد مسیریابی متصدیان خواندن کنتور برق ارائه شده

که هر یک دارای تقاضای معینی هستند. این مسأله درصدد است تا با مدل‌های ریاضی و بهینه‌سازی به گونه‌ای عمل کند که مسافت طی شده، زمان کل سفر، تعداد وسایل حمل و نقل، جریمه‌های دیرکرد و در نهایت تابع هزینه حمل و نقل حداقل گردد و در نهایت رضایت مشتریان به حداکثر برسد. وجود محدودیت‌های مختلف در این‌گونه مسائل انواع مختلفی از مسائل کلاسیکی تشکیل می‌دهد که یکی از آن‌ها بحث وجود پنجره‌های زمانی نرم در سرویس به مشتریان می‌باشد. در این‌گونه مسائل اجازه سرویس‌دهی به مشتریان در خارج از بازه زمانی سخت نیز داده شده و برای هر واحد عدم سرویس به موقع جریمه‌ای در نظر گرفته می‌شود که در نهایت در تابع هدف تعریف شده است (سلیم، اسدالله و مهران ملکی نیا، ۱۳۹۶). در پژوهش امیریان و همکاران، مدل جدیدی از مسأله مسیریابی وسایل نقلیه به صورت برنامه‌ریزی خطی عدد صحیح فرموله شده است که در آن برخلاف مدل‌های متداول مسأله مسیریابی لزومی به بازگشت وسیله نقلیه بعد از اتمام سرویس‌دهی به انبار اولیه وجود ندارد. در این مقاله تأثیر تخصیص انعطاف‌پذیر انبار پایانی در هزینه حمل‌ونقل و رضایت مشتری به‌طور همزمان سنجیده می‌شود. با توجه به NP-Hard بودن مسأله مسیریابی در حالت چند قرارگاهی و چند محصولی با پنجره زمانی فازی برای حل مدل از الگوریتم فراابتکاری ژنتیک چند هدفه با مرتب‌سازی نامغلوب استفاده شده است (امیریان، ۱۳۹۶). جدول ۱، خلاصه‌ای از برخی آثار پژوهشی مربوطه در حوزه مسائل مسیریابی وسایل نقلیه را ارائه می‌دهد. در این بخش به مطالعه ادبیات مورد استفاده در مسأله مسیریابی وسایل نقلیه پرداخته شد. با توجه به حساسیت پخش دارو و در راستای کاهش هزینه حمل و نقل و کاهش مدت زمان طی مسیر از انبار نگهداری دارو به مراکز فروش یا داروخانه‌ها، برای اولین بار این موضوع در قالب مسأله مسیریابی وسیله نقلیه با پنجره زمانی مطرح شده و با استفاده از الگوریتم فراابتکاری خفاش مسأله حل می‌گردد. با توجه به ماهیت الگوریتم‌های فراابتکاری این مسیریابی در کمترین زمان ممکن با کمترین هزینه به یک مسیریابی بهینه دست یافت که این میزان بهینه‌سازی در مقایسه با کارهای پیشین پیشرفت قابل توجهی یافته است.

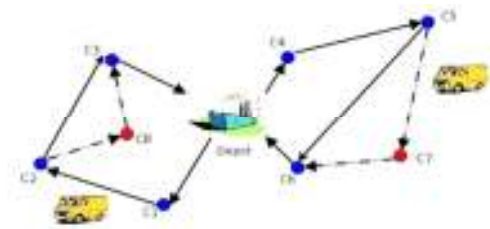
بود ارائه دادند که این روش ابتکاری یکی از بهترین روش‌های ابتکاری موجود است (Mirabi, Fatemi Ghomi, & Jolai, 2010). قصیری و قنادپور یک مدل ریاضی جدید برای مسأله مسیریابی وسایل نقلیه با پنجره زمانی با اهداف چندگانه مطرح کردند که در این مدل تصمیم‌گیرنده سطوح مختلفی را برای اهداف و آرمان‌های آن در نظر می‌گیرد و در تلاش است تا انحراف از این آرمان‌ها را کمینه کند. آن‌ها برای مدل‌سازی این مدل چند هدفه از برنامه‌ریزی آرمانی و برای حل آن از یک الگوریتم ژنتیک کارآمد استفاده کردند (قصیری، کیوان و سید فرید قنادپور، ۱۳۸۷). در مقاله شهرآئینی و همکاران به کاربرد الگوریتم ژنتیک برای حل مسأله مسیریابی وسایل نقلیه با محدودیت ظرفیت پرداخت شده است. در این مسأله هدف یافتن مسیرهای بهینه برای تعدادی مشخص وسیله نقلیه است که هر کدام ظرفیت معینی دارند و باید سفارش مشتری‌ها را از یک انبار مرکزی به آن‌ها برسانند. بهترین نتایج شناخته شده برای این مسائل از به کارگیری الگوریتم‌های فراابتکاری جستجوی ممنوعه و شبیه‌سازی تبرید به دست آمده است. در این مقاله الگوریتم ژنتیک با الگوریتم‌های جستجوی همسایگی ترکیب شده است تا بتواند جواب‌هایی قابل رقابت با جستجوی ممنوعه و شبیه‌سازی تبرید تولید کند (شهرآئینی، داوود؛ مهدی علی‌نقیان و البرز حسن زاده، ۱۳۹۵). مسأله مسیریابی وسایل نقلیه، یکی از مهم‌ترین مسائل مدیریت زنجیره تأمین است. این اهمیت از آن‌جا ناشی می‌شود که تخصیص مطلوب وسایل به مسیرهای مختلف، تأثیر زیادی بر کاهش هزینه‌ها دارد. در تحقیقی توسط میرحسینی و همکاران، این مسأله با در نظر گرفتن شرایط دنیای واقعی از جمله محدودیت تردد وسایل مورد بررسی قرار می‌گیرد. باتوجه به NP-Hard بودن مسأله، مدلی مبتنی بر الگوریتم کلونی مورچگان توسعه داده می‌شود. همچنین عملکرد الگوریتم پیشنهادی با نتایج حاصل از دو الگوریتم جستجوی ممنوعه و ژنتیک نیز مقایسه می‌شود (میرحسینی و همکاران، ۱۳۹۲). یکی از مباحث مهم که در چند دهه اخیر کاربرد بسیار بالایی در عمل داشته و برای افزایش کارایی و بهره‌وری سیستم‌های حمل و نقل مطرح شده است بحث مسأله مسیریابی وسایل نقلیه می‌گردد که در آن تعدادی وسیله نقلیه متمرکز در یک یا چند قرارگاه بایستی به مجموعه‌ای از مشتریان مراجعه نموده و خدمتی را ارائه دهند

جدول ۱. خلاصه‌ای از برخی آثار پژوهشی مربوطه در حوزه مسائل مسیریابی وسایل نقلیه

نام نویسندگان مقالات	توضیحات
(Clarke & Wright, 1964)	ارائه الگوریتم صرفه‌جویی (C&W)
(Bae et al., 2007)	ارائه یک الگوریتم ژنتیک بهبودیافته برای کاهش هزینه‌های تدارکات با رعایت بازه زمانی تحویل کالا و ظرفیت وسایل نقلیه
(Chen et al., 2006)	پیشنهاد یک مدل ریاضی غیرخطی
(Mirabi et al., 2010)	ارائه یک روش ابتکاری ترکیبی برای مسأله مسیریابی وسیله نقلیه چند انبار
(قصیری و قنادپور، ۱۳۸۷)	معرفی یک الگوریتم ژنتیک کارآمد برای مسأله مسیریابی وسایل نقلیه با پنجره زمانی با اهداف چندگانه
(شهرآئینی؛ علینقیان و حسن زاده، ۱۳۹۵)	ارائه الگوریتم ژنتیک برای حل مسأله حجم محدود مسیریابی
(میرحسینی و همکاران، ۱۳۹۲)	توسعه مدلی مبتنی بر الگوریتم کلونی مورچگان با وجود محدودیت تردد وسایل نقلیه و مقایسه عملکرد الگوریتم پیشنهادی با نتایج حاصل از دو الگوریتم جستجوی ممنوعه و ژنتیک
(سلیم و ملکی نیا، ۱۳۹۶)	ارائه یک مدل ریاضی بهینه‌سازی به منظور کمینه‌سازی مسافت طی شده، زمان کل سفر، تعداد وسایل حمل و نقل، جریمه‌های دیرکرد و در نهایت تابع هزینه حمل و نقل و بیشینه‌سازی رضایت مشتریان
(امیریان؛ خادمی زارع و اخوان، ۱۳۹۶)	به کارگیری الگوریتم ژنتیک مرتب‌سازی نامغلوب به منظور فرموله کردن مسأله مسیریابی وسایل نقلیه به صورت برنامه‌ریزی خطی عدد صحیح و سنجش تأثیر تخصیص انعطاف‌پذیری انبار پایانی در هزینه حمل و نقل و رضایت مشتری با هدف کمینه‌سازی مسافت طی شده توسط وسایل نقلیه و بیشینه‌سازی سطح سرویس تأمین‌کنندگان به مشتریان

### ۳- شرح مدل

بیشتر از  $Q$  یعنی ظرفیت وسیله نقلیه باشد (کاظمی و همکاران، ۱۳۹۱). شکل (۱) یک مسأله مسیریابی وسایل نقلیه را نشان می‌دهد.



شکل ۱. مسیریابی وسایل نقلیه

مسأله مسیریابی وسایل نقلیه به وسیله یک گراف وزن‌دار  $G = (G, L)$  که در آن  $\{C = C_0, \dots, C_n\}$  بیانگر رئوس و  $L = \{(C_i, C_j)\}$  بیانگر یال‌های گراف را نشان می‌دهد. در این مدل از گراف،  $C_0$  انبار مرکزی و دیگر رئوسها،  $n$  مشتری هستند که باید سرویس‌دهی شوند. هر رأس متناظر است با مقدار  $q_i$  که نشان‌دهنده مقدار کالایی است که باید به آن شهر اختصاص یابد ( $q_0 = 0$ ). به هر یال  $(C_i, C_j)$  مقدار  $d_{ij}$  که نشان‌دهنده فاصله آن دو رأس است اختصاص می‌یابد. هر مسیر از  $C_0$  شروع و به  $C_0$  ختم می‌شود و هر رأس  $C_i$  باید دقیقاً یک بار ملاقات شود و همچنین مقدار کالایی که در یک مسیر سرویس‌دهی می‌شود نباید

### ۳-۱- مسأله مسیریابی وسایل حمل و نقل با پنجره زمانی (VRPTW)

ظرفیت است که در آن سرویس به هر مشتری باید در یک بازه زمانی معین صورت گیرد. این مسأله با توجه به اهمیت بالایی که

مسأله مسیریابی وسایل حمل و نقل با پنجره زمانی، مسأله تعمیم یافته‌ای از مسأله مسیریابی وسایل حمل و نقل با محدودیت

غیره در عمل اشاره کرد. در هر مسأله مسیریابی وسایل نقلیه با پنجره زمانی، با دو فاز مسیریابی و برنامه‌ریزی وسایل نقلیه مواجه هستیم. مسیریابی مربوط به پیدا کردن یک مسیر ایده‌آلی است که اهداف مدل را تأمین کرده و از مشتری تبعیت کند در حالی که برنامه‌ریزی وسایل نقلیه زمانی که باید به هر مشتری خدمت داده شود را معین می‌کند لذا در مبحث زمان هزینه کلی مسیر نه تنها شامل هزینه مسافت کل زمان‌های خدمت و سایر هزینه‌های وابسته می‌شود بلکه هزینه کلی توقفات انتظارها نیز محاسبه می‌گردد.

به بحث زمان در حل مسائل می‌دهد در عمل از کاربرد بیشتری برخوردار بوده و لذا توجه بیشتری را در محافل علمی به خود اختصاص داده است مسیریابی وسایل نقلیه با پنجره زمانی با توجه به صورت گرفتن سرویس‌دهی در یک بازه زمانی خاص پیچیدگی‌های زیادی داشته که در صورت اضافه شدن محدودیت طول مسیر و هزینه پنجره زمانی در عین پیچیدگی بسیار بالا به یک مبحث کاربردی در عمل بسیار نزدیک می‌گردد. از مثال‌های مشخص مسأله مسیریابی وسایل نقلیه با پنجره زمانی می‌توان به تقسیم پول نقد به شعب بانک‌ها، جمع‌آوری زباله‌ها و ضایعات صنعتی، تقسیم سوخت به جایگاه‌های پخش، سرویس مدارس و

### ۲-۳- مفروضات مسأله

- ✓ چند انبار برای تحویل تقاضا به داروخانه وجود دارد، در واقع یک شعبه خاص الزاماً از یک انبار مشخص سرویس دریافت نمی‌کند.
- ✓ تعداد ماشین در هر انبار حد معینی دارد؛ اما حتماً نباید از تمام آن‌ها استفاده کرد.
- ✓ ماشین‌ها قابل انتقال به انبارهای دیگر نیستند.

- ✓ مسأله به صورت یک شبکه گسسته طراحی شده است که داروخانه‌ها و انبارها به عنوان گره‌های آن هستند.
- ✓ تقاضای هر داروخانه در ابتدای روز مشخص و ثابت است.
- ✓ هر وسیله نقلیه از یک انبار حرکت و پس از طی مسیر به انبار باز می‌گردد.
- ✓ هر داروخانه به وسیله دقیقاً یک وسیله نقلیه سرویس می‌بیند.
- ✓ هر وسیله دقیقاً از یک انبار عبور می‌کند.
- ✓ همه وسایل نقلیه همگن هستند و از نظر زمان محدودیت دارند.

### ۳-۳- نمادهای مسأله

نمادهای استفاده شده در این مدل به شرح زیر است:

#### ۱-۳-۳- اندیس‌ها و مجموعه‌ها

- $k$  مجموعه وسایل نقلیه  $\{k | k = 1, \dots, K\}$  یا همان مجموعه مسیرها (ماشین  $k$ ام معرف مسیر شماره  $k$ ام است).

- $i$  تعداد انبار
- $J$  مجموعه تعداد مشتریان؛ که برابر مجموع تعداد انبارها و داروخانه  $\{j | j = 1, \dots, N + M\}$

#### ۲-۳-۳- پارامترها

- $T_k$  حداکثر مدت زمان مجاز برای حرکت وسیله  $k$
- $Y_i$  حداکثر تعداد وسیله در هر انبار
- $t_{ijk}$  زمان حرکت از نقطه  $i$  به  $j$  توسط وسیله  $k$

- $K_{ij}$  زمان حرکت از نقطه  $i$  به  $j$  توسط وسیله  $k$ ;  
 $(i, j \in I \cup J, k \in K)$
- $k_j T$  حداکثر زمان تحویل تقاضا برای داروخانه  $j$  توسط وسیله  $k$ ;  
 $(j \in I, k \in K)$

### ۳-۳-۳ متغیرها

- $Z_{ij}$  اگر داروخانه  $j$  به انبار  $i$  اختصاص یابد یک، در غیر این صورت صفر است.
- $U_{ik}$  متغیر کمکی در محدودیت حذف زیرتور

- $X_{ijk}$  اگر نقطه  $i$  بلافاصله قبل از  $j$  توسط وسیله  $k$  قرار دارد  $(i, j \in I \cup J, k \in K)$  یک، در غیر این صورت صفر است.

### ۴- مدل ریاضی

به داروخانه‌ها و کاهش زمان کل حمل، مهم‌تر از کاهش هزینه متغیر ماشین است. بنابراین، مدل پیشنهادی مسأله به این صورت ارائه می‌گردد:

علت عدم استفاده مستقیم از تابع کمیته‌سازی هزینه ماشین در مسأله این است که تعداد ماشین در هر انبار مشخص و هزینه ثابت آن قبلاً پرداخت شده است، بنابراین سرویس‌دهی به موقع

$$\text{Min } Z = \sum_{i \in I \cup J} \sum_{j \in J} \sum_{k \in K} t_{ijk} X_{ijk} \quad (1)$$

$$\sum_{k \in K} \sum_{i \in I \cup J} X_{ijk} = 1 \quad \forall j \in J \quad (2)$$

$$\sum_{j \in J} \tau_{kj} + \sum_{i \in I \cup J} \sum_{j \in J} t_{ijk} X_{ijk} \leq T_k \quad \forall k \in K \quad (3)$$

$$U_{lj} - U_{jk} + KX_{ljk} \leq K - 1 \quad \forall l, j \in J, k \in K \quad (4)$$

$$\sum_{i \in I \cup J} \sum_{j \in J} X_{ijk} \leq 1 \quad \forall k \in K \quad (5)$$

$$\sum_{j \in I \cup J} X_{ijk} - \sum_{j \in I \cup J} X_{jik} = 0 \quad \forall i \in I \cup J, k \in K \quad (6)$$

$$-Z_{ij} + \sum_{u \in I \cup J} (X_{iuk} + X_{ujk}) \leq 1 \quad \forall i \in I, j \in J, k \in K \quad (7)$$

$$\sum_{j \in J} X_{ijk} \leq Y_i \quad \forall i \in I \cup J, k \in K \quad (8)$$

$$X_{ijk} \in \{0,1\} \quad \forall i, j \in I \cup J, k \in K \quad (9)$$

$$Z_{ij} \in \{0,1\} \quad \forall i \in I, j \in J \quad (10)$$

$$U_{ik} \geq 0 \quad \text{عدد صحیح} \quad \forall i \in I, k \quad (11)$$

وارد می‌شود، حتماً آن را ترک می‌کند. رابطه (۷) نشان می‌دهد. یک شعبه ممکن است به یک انبار اختصاص یابد تنها اگر یک وسیله اختصاص یافته به انبار وجود دارد که آن شعبه را سرویس می‌دهد. رابطه (۸) بیان می‌دارد که محدودیت تعداد ماشین در هر انبار برابر تعداد مشخصی است اما لزوماً از همه ماشین‌ها استفاده نمی‌شود. روابط (۹) تا (۱۱) نوع متغیرهای تصمیم و متغیر کمکی را تعیین می‌کند.

تابع هدف که در رابطه (۱) ارائه شده است، کل هزینه سیستم را کمیته می‌کند. رابطه (۲) نشان می‌دهد هر داروخانه تنها توسط یک وسیله و یک انبار سرویس داده می‌شود. رابطه (۳) نشان می‌دهد که مدت زمان حرکت یک وسیله باید از بیشینه زمان مجاز کمتر باشد. رابطه (۴) حذف هر زیرتور را تضمین می‌کند. رابطه (۵) نشان می‌دهد که هر وسیله دقیقاً به یک مسیر تخصیص می‌یابد. رابطه (۶) بیان می‌کند هر وسیله به هر داروخانه‌ای که

#### ۴- پیاده‌سازی مدل

در این بخش، ابتدا یک مثال عددی در ابعاد کوچک و با استفاده از داده‌هایی به فرم رندم به منظور تعیین دقیق مقدار متغیرهای مسئله برای حل در نرم‌افزار GAMS ارائه می‌شود و در ادامه با توجه به افزایش ابعاد مسئله، مدت زمان حل مسئله و نیز گپ حاصل برای محاسبه نتیجه نهایی افزایش یافته که بیانگر NP-Hard بودن مسئله مسیریابی وسایل نقلیه پخش دارو با پنجره زمانی است؛ بنابراین از الگوریتم فراابتکاری تک هدفه خفاش برای به دست آوردن جواب، استفاده شده است، و از روش تاگوچی برای تنظیم پارامتر متغیرهای الگوریتم استفاده می‌شود.

#### ۴-۱- اعتبارسنجی مدل

در این بخش از پیاده‌سازی روش پیشنهادی با استفاده از نرم‌افزار GAMS و نتایج به دست آمده از این پیاده‌سازی ارائه شده است. بنابراین در این مقاله، یک مدل مسیریابی چند انباره با هدف کمینه‌سازی زمان حمل و نقل به شرط اتمام ارائه خدمات به شعب در زمان معین طراحی شده است. لازم به ذکر است که در این کار جهت محاسبه ریسک مسیر بر طبق نظر خبرگان در این زمینه، از شاخص‌های قابل سنجش مانند نوع خیابان، نوع تردد مجاز، عرض خیابان، متوسط ترافیک خیابان استفاده می‌شود و شاخص‌هایی مانند ترافیک لحظه‌ای یا حوادث پیش‌بینی نشده نادیده گرفته می‌شود. مقدار تابع هدف در خروجی؛  $Z=40.374$  است.

بعد از اعتبارسنجی مدل و افزایش ابعاد مسئله، به این نتیجه نرم‌افزار GAMS، قادر به حل مسائل مسیریابی وسایل نقلیه با ابعاد بزرگ نیست و لازم است از الگوریتم‌های فراابتکاری استفاده نماییم.

#### ۴-۲- الگوریتم‌های فراابتکاری

امروزه هوش گروهی و محاسبات الهام گرفته شده از طبیعت توجه زیادی را به ویژه در زمینه‌های بهینه‌سازی، هوش محاسباتی و علوم کامپیوتر به خود جلب نموده‌اند. الگوریتم‌های مبتنی بر هوش گروهی از قبیل الگوریتم بهینه‌سازی کلونی زنبورعسل، بهینه‌سازی کلونی مورچگان، جستجوی فاخته، کرم شب‌تاب و غیره مزایای بسیار بیشتری نسبت به الگوریتم‌های معمولی در اختیار ما قرار می‌دهند. در حال حاضر الگوریتم‌های اکتشافی الهام گرفته شده طبیعی در میان الگوریتم‌های دیگر و هوشمندی محاسباتی برای بهینه‌سازی استفاده می‌شوند. هدف از بهینه‌سازی به حداقل رساندن مصرف انرژی و هزینه‌ها، به حداکثر رساندن سود، خروجی، عملکرد، راندمان و غیره می‌باشد. هوش گروهی به یک حوزه پژوهشی روی رفتار جمعی درون سیستم‌های خودسازمانده و غیرمتمرکز اشاره دارد. برخی از تکنیک‌های بهینه‌سازی هوشمندی گروهی امیدبخش شامل الگوریتم‌های کرم شب‌تاب، جستجوی فاخته و الگوریتم خفاش است (Yang, 2010).

#### ۴-۳- الگوریتم خفاش

الگوریتم خفاش یک الگوریتم فراابتکاری مبتنی بر جمعیت است که ایده اولیه آن توسط یانگ در سال ۲۰۰۸ بیان شد و سپس در سال ۲۰۱۰ گسترش یافت. یانگ یک بازنگری بر روی تحقیقات مرتبط با این الگوریتم و کاربردهای آن انجام داده است که نتایج نشان می‌دهد که این الگوریتم برای مسائل بهینه‌سازی مناسب است. این الگوریتم الهام گرفته از انعکاس صدای خفاش‌ها بوده و اولین نوع از الگوریتم‌هایی است که از تنظیم فرکانس استفاده می‌کنند. ویژگی مکان‌یابی صوتی، خفاش‌ها را قادر می‌سازد تا بتوانند شکار خود را بیابند. خفاش‌ها پالس صوتی بسیار بلندی تولید می‌کنند و به بازگشت آن از اشیاء اطراف گوش می‌کنند. منطق این الگوریتم به این صورت است که هر خفاش مجازی با یک سرعت برابر  $(V_i)$  به طور تصادفی پرواز می‌کند. مکان آن یا  $(xi)$  جواب نهایی این الگوریتم است. یک خفاش در حین جستجویش برای یافتن شکار طول موج صدا  $(A_i)$  و نرخ انتشار پالس  $(ii)$  را تغییر می‌دهد. همچنین جستجو توسط گام تصادفی تقویت می‌شود. انتخاب بهترین، تا زمانی که یکی از شرایط توقف برقرار گردد، ادامه دارد. برای سادگی تنها از برخی از ویژگی‌های خفاش‌ها برای ایجاد



پرواز می‌کنند تا شکار خود را بیابند. علاوه بر این فرض-  
های ساده‌سازی، تقریب‌های دیگری نیز در طراحی الگوریتم  
خفاش در نظر گرفته شده است. مانند این که عموماً فرکانس  
در دامنه  $[f_{max}, f_{min}]$  قرار دارد. دامنه طول موج باید  
به گونه‌ای انتخاب شود که مطابق با اندازه مسأله مورد حل  
باشد و سپس آن را باید به اندازه کوچک‌تر تغییر داد. در این  
الگوریتم مکان (یک جواب) و سرعت هر خفاش در گام  
 $T+1$  به صورت زیر محاسبه می‌شود.

$$f_i = f_{min} + (f_{max} - f_{min})\beta$$

خفاش را می‌توان ترکیبی از الگوریتم بهینه‌سازی ازدحام ذرات  
بدون بهره‌مندی از بهترین جواب محلی ذره  $\lambda_m$  به همراه  
جستجوی محلی مبتنی بر بلندی صوت و نرخ انتشار پالس  
دانست.

$$v_i(t+1) = v_i(t) + (x_i(t+1) - x_{best})f_i$$

$$x_i(t+1) = x_i(t) + v_i(t)$$

به‌روزرسانی مکان و سرعت ذره درخفاش‌ها یکی از مسائل  
مهمی است که برای یافتن بهترین ذره در نظر گرفته می‌شود که  
در روابط (۱۳) و (۱۴) به‌روزرسانی سرعت و مکان صورت  
پذیرفته است. برای قسمت جستجوی محلی، یک جواب در میان  
بهترین جواب‌های موجود انتخاب و یک جواب جدید برای هر  
خفاش به صورت محلی با استفاده از گام تصادفی یعنی

$$A_i^{t+1} = \alpha A_i^t$$

$$r_i^{t+1} = r_i^0 [1 - \exp(-\gamma^t)]$$

که  $\alpha = \gamma = 0.9$  برای سادگی هستند و برای سادگی  
در نظر گرفته می‌شود.  
مراحل الگوریتم خفاش تک‌هدفه به شرح زیر می‌باشد:

- ۱- مقداردهی مکان اولیه  $x_i$ ، سرعت اولیه ذرات  $v_i$ ، مقداردهی  
اولیه به نرخ انتشار پالس  $r_i$  و بلندی صدا  $A_i$
- ۲- تا زمان رسیدن به شرط خاتمه مراحل زیر را تکرار کن:
- ۲-۱- تولید جواب جدید با تنظیم فرکانس و به هنگام‌سازی  
سرعت و مکان با معادلات (۱۲) تا (۱۶)
- ۲-۲- اگر یک عدد تصادفی بین ۰ و ۱ بزرگ‌تر از  $r_i$  آن‌گاه:

الگوریتم خفاش استفاده می‌شود که عبارتند از:

➤ همه خفاش‌ها از توانایی مکان‌یابی صوتی برای تشخیص  
فاصله استفاده کرده و می‌توانند تفاوت بین غذا و موانع را  
تشخیص دهند.

➤ اگر چه که بلندی صوت را می‌توان به روش‌های مختلف  
تغییر داد، در این جا فرض شده است که بلندی صوت از  
یک مقدار بزرگ ثابت مثبت  $A_0$  به مقدار کوچکتر  $A_{min}$   
تغییر می‌کند.

➤ خفاش‌ها به صورت تصادفی با سرعت  $v_i$  در موقعیت  $x_i$  با  
فرکانس ثابت  $f_{min}$  و طول موج متغیر  $\lambda$  به بلندی  $A_0$   
(۱۲)

بردار تصادفی یکنواخت و  $x_{best}$  بهترین مکان  
سراسری از بین همه خفاش‌ها است که تاکنون به دست آمده  
است. به‌روزرسانی مکان و سرعت ذره درخفاش‌ها دارای  
شباهت‌هایی با الگوریتم بهینه‌سازی ازدحام ذرات است که در آن  
 $f_i$  سرعت و ازدحام ذرات را کنترل می‌کند. در واقع الگوریتم

$$(۱۳)$$

$$(۱۴)$$

به‌روزرسانی مکان و سرعت ذره درخفاش‌ها یکی از مسائل  
مهمی است که برای یافتن بهترین ذره در نظر گرفته می‌شود که  
در روابط (۱۳) و (۱۴) به‌روزرسانی سرعت و مکان صورت  
پذیرفته است. برای قسمت جستجوی محلی، یک جواب در میان  
بهترین جواب‌های موجود انتخاب و یک جواب جدید برای هر  
خفاش به صورت محلی با استفاده از گام تصادفی یعنی

$$(۱۵)$$

$$(۱۶)$$

که  $\alpha = \gamma = 0.9$  برای سادگی هستند و برای سادگی  
در نظر گرفته می‌شود.

مراحل الگوریتم خفاش تک‌هدفه به شرح زیر می‌باشد:

- ۱- مقداردهی مکان اولیه  $x_i$ ، سرعت اولیه ذرات  $v_i$ ، مقداردهی  
اولیه به نرخ انتشار پالس  $r_i$  و بلندی صدا  $A_i$
- ۲- تا زمان رسیدن به شرط خاتمه مراحل زیر را تکرار کن:
- ۲-۱- تولید جواب جدید با تنظیم فرکانس و به هنگام‌سازی  
سرعت و مکان با معادلات (۱۲) تا (۱۶)
- ۲-۲- اگر یک عدد تصادفی بین ۰ و ۱ بزرگ‌تر از  $r_i$  آن‌گاه:

بیش از (۲۰ اجرای آخر) به اتمام خواهد رسید.

برای حل مسأله مسیریابی به روش پیشنهاد شده؛ ابتدا به نحوه نمایش جواب پرداخته شده است. در تحقیقات متعدد موجود در این حوزه، نحوه نمایش‌های متعددی وجود دارد. در این تحقیق به دلیل ماهیت مدل و همچنین نوع الگوریتم (الگوریتم پیوسته) انتخابی، از نحوه نمایش ارائه شده در مقاله ارائه شده توسط ستاک و همکاران در سال ۲۰۱۳ الهام گرفته شده و به صورت یک بردار با طول ثابت قابل نمایش است. در این کار، روش تولید جواب اولیه، رمزگشایی جواب و تولید جواب جدید ساده می‌باشد.

در ادامه مراحل انجام الگوریتم توصیف می‌شود:

مرحله اول: تولید جواب اولیه

تولید جواب اولیه به صورت تصادفی صورت می‌گیرد. این جواب اولیه با توجه به نحوه نمایش در نظر گرفته شده در اینجا معنادار نیست. نحوه نمایش جواب به این صورت است که یک بردار از اعداد تصادفی بین  $[0,1]$  با طول ثابت برابر تعداد داروخانه‌ها ( $N$ ) تولید شود. در این مرحله رشته اعداد بردار به دست می‌آیند که به صورت نزولی مرتب می‌شوند بردار به دست آمده به جایگشتی از شماره داروخانه‌های مورد بررسی تبدیل می‌شود که شماره داروخانه‌ها در محدوده  $[M+1, N+M]$  تغییر می‌کند و  $M$  برابر تعداد انبار و  $N$  تعداد داروخانه‌ها را نشان می‌دهد که در شکل ۲ نحوه نمایش جواب نشان داده شده است.

۰/۳۴	۰/۶۷	۰/۹	۰/۲۲	۰/۶۹	۰/۱۲	۰/۷	۰/۴۶
------	------	-----	------	------	------	-----	------

الف) یک بردار تصادفی بین  $[0,1]$

۰/۹	۰/۷	۰/۶۹	۰/۶۷	۰/۴۶	۰/۳۴	۰/۲۲	۰/۱۲
-----	-----	------	------	------	------	------	------

ب) مرتب کرده دسته اعداد بردار الف به صورت نزولی

۴	۸	۶	۳	۹	۲	۵	۷
---	---	---	---	---	---	---	---

ج) یک جایگشت از اعداد مرتب شده تصادفی با قاعده LPV

شکل ۲. نحوه نمایش جواب

داروخانه بعدی موجود در توالی اولیه به جواب مورد ارزیابی اضافه می‌شود. هنگامی که جمع زمان‌ها از حداکثر زمان وسیله نقلیه بیشتر شود مجموع زمان محاسبه شده به عنوان زمان وسیله نقلیه  $k$ ام در نظر گرفته شده و به  $k$  یک واحد اضافه شده و الگوریتم دوباره به مرحله اول بازمی‌گردد. یک مسأله دیگر نیز تعداد ماشین‌هایی است که از انبار به سمت داروخانه‌ها حرکت می‌کنند، که در حالت‌های مختلف به صورتی که در ادامه آمده است قابل توصیف است. وقتی از انبار یک ماشین به سمت داروخانه‌ها خارج می‌شود توالی ایجاد شده به صورت ۱-۲-۹-۳ حرکت می‌کند و در حالتی که دو ماشین از انبار خارج می‌شوند توالی‌های ۱-۴-۸-۶-۱ و ۱-۵-۷-۱-۳ حرکت می‌کنند. بنابراین جواب به دست آمده به صورت شکل ۳ خواهد بود.

برای ارزیابی جواب‌های به دست آمده چون جواب‌های به دست آمده معنی‌دار نیستند؛ ابتدا باید جواب حاصل به یک جواب امکان‌پذیر تبدیل شود سپس تابع هدف برای جواب‌های به دست آمده ارزیابی گردد. برای ایجاد جواب معنی‌دار به صورت زیر باید عمل گردد:

در ابتدا برای یافتن مسیرهای بهتر نزدیک‌ترین داروخانه به انبار تعیین و به ابتدای توالی موجود اضافه می‌شود و زمان حرکت در مسیر ایجاد شده که مجموع زمان حمل و نقل از نقطه  $i$  به  $j$  و زمان تحویل داروها به نقطه  $j$  است، به عنوان زمان وسیله نقلیه  $k$ ام ( $k=1, 2, \dots, k$ ) که از  $k$  شروع می‌شود منظور می‌گردد. تا زمانی که جمع زمان‌ها از حداکثر زمان مجاز وسیله نقلیه  $k$ ام (برابر حداکثر زمان مجاز دارورسانی به داروخانه‌ها) تجاوز نکند

۱	۴	۸	۶	۳	۹	۱	۶	۸
---	---	---	---	---	---	---	---	---

شکل ۳. نحوه رمزگشایی جواب

شده و در ادامه مطابق با منطق بیان شده در گام تولید جواب اولیه بر اساس قاعده LPV بردار تولید شده در گام‌های قبلی به جایگشتی از شماره شعب تبدیل می‌شود و در مرحله رمزگشایی به یک جواب جدید موجه تبدیل می‌شود.

برای ایجاد جواب جدید با توجه به ماهیت گسسته الگوریتم خفاش نحوه نمایش جواب یک بردار از اعداد تصادفی در محدوده  $[0,1]$  است. در مرحله بهنگام‌سازی سرعت و مکان خفاش‌ها، معادلات  $3-12$  تا  $3-14$  بر روی این بردار اعمال

#### ۴-۴- تنظیم پارامتر

به مسیریابی وسایل نقلیه از نوع کمینه‌سازی می‌باشد بنابراین نرخ S/N مربوط به آن به صورت رابطه (۱۷) محاسبه می‌شود:

برای تنظیم پارامترها در این الگوریتم روش‌های آماری بسیاری برای طراحی آزمایش وجود دارد که در این پژوهش از روش تاگوچی استفاده شده است. با توجه به این که تابع هدف مربوط

$$\frac{S}{N_s} = -10 \log\left(\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n y_i^2\right) \quad (17)$$

که  $n$  تعداد تکرار آزمایش و  $y_i$  پاسخ مسأله است.

روش پیشنهادی تحت ۵ مسأله پیشنهاد شده مورد بررسی قرار گرفته است. ابعاد مسائل موجود در راهکار پیشنهادی در جدول ۲ ارائه شده است که به شرحی که در ادامه ذکر شده هستند.

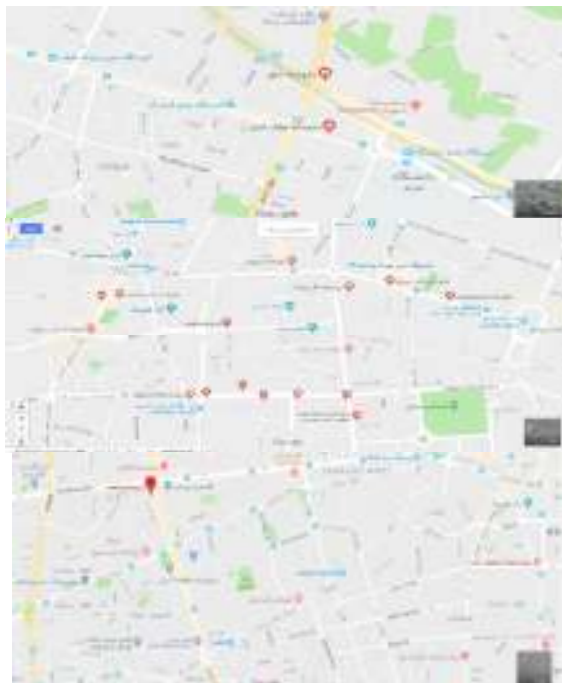
جدول ۲. ابعاد مسائل نمونه

شماره مسأله	۱	۲	۳	۴	۵
تعداد انبار	۱	۱	۱	۱	۱
تعداد داروخانه	۲	۴	۶	۸	۱۰

#### مطالعه موردی

داده شده است. داروخانه‌های انتخاب شده، ۱۰ داروخانه هستند که در هر منطقه: خیابان ۱۷ شهریور که شامل داروخانه فردوس، داروخانه دکتر افخم، داروخانه دکتر فضلی، داروخانه دکتر سلیمی، داروخانه دکتر رسولی، داروخانه دکتر شیرزاد است، همچنین در خیابان آبرسان شامل داروخانه‌های هلال احمر و خاور و در خیابان میدان جهاد شامل داروخانه دکتر شفق و داروخانه ولیعصر است. مسیرهای مختلفی در بین این سه ناحیه و بین انبار تا داروخانه‌ها وجود دارد. طبق مسأله تعریف شده در این بخش مسیرهای موجود بین انبار و داروخانه‌ها، که در خارج از شهر قرار دارد مسیرهای متعددی وجود دارد که هدف از مسیریابی در این روش یافتن بهترین مسیر با کم‌ترین هزینه و کوتاه‌ترین مسیر است.

جهت ارزیابی عملکرد روش پیشنهادی، مسائلی با ابعاد مختلف بر اساس مسائل واقعی مربوط به انتقال داروها به داروخانه‌های موجود در سطح شهر تبریز که توسط شرکت محیادارو صورت می‌گیرد، در نظر گرفته شده است. همچنین این بررسی‌ها منطبق بر داده‌های واقعی به دست آمده از پایگاه داده این شرکت و نحوه توزیع دارو توسط این شرکت صورت می‌گیرد. در کلیه مسائل از نقشه شهر تبریز که کلیه اطلاعات مورد نیاز مانند مکان شعب داروخانه موردنظر، نوع خیابان‌ها، نوع تردد مجاز، عرض خیابان و طول خیابان مشخص می‌باشد. نواحی مورد نظر شامل سه ناحیه در شهر تبریز می‌باشد که شامل خیابان آبرسان، خیابان ۱۷ شهریور جدید و میدان جهاد می‌باشد. در این پژوهش داروخانه‌های موجود در این سه محدوده در نظر گرفته شده است که شکل ۴، تصویر گوشه‌ای از محدوده‌های مورد نظر نمایش



شکل ۴. نقشه‌های مناطق مورد نظر در محدوده خیابان آبرسان، خیابان ۱۷ شهریور و میدان جهاد

و شرایط مربوط به داده‌های مورد پیاده‌سازی در جدول ۲ ارائه شده است که به شرح زیر می‌باشد.

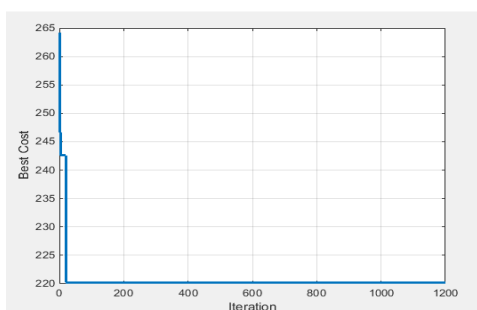
جدول ۲. مشخصات پارامترهای مورد بررسی

ردیف	مشخصات	تعداد
۱	نام شرکت	محیادارو
۲	فناور یا غیرفناور بودن دارو	تأمین‌کننده دولتی و خصوصی
۳	محدویت دارویی	تاریخ انقضاء
۴	رتبه شرکت	۷
۵	تعداد انبار	شرکت صنعتی غرب
۶	تعداد داروخانه	۱۰ داروخانه در محدوده آبرسان تا خیابان ۱۷ شهریور جدید
۷	تعداد مسیر (محدودیت مسیر)	محدوده آبرسان تا خیابان ۱۷ شهریور جدید
۸	داروی مورد مطالعه (تقاضای داروخانه‌ها)	قرص آموکسی‌سیلین ۵۰۰ میلی‌گرم
۹	اقلام تولید شده	۲۰۰۰
۱۰	وسایل نقلیه	یک عدد کامیون

جهاد تبریز در نظر گرفته شده اسن تحویل می‌دهد. ارسال سفارشات مشتریان در کمتر از ۲۴ ساعت در سراسر استان صورت می‌گیرد. شعبه تبریز شرکت محیادارو یکی از بروزترین و مجهزترین شعبات دارویی در بین شعبات شرکت‌های پخش دارو در غرب کشور می‌باشد. شرح نتایج حاصل از پیاده‌سازی روش

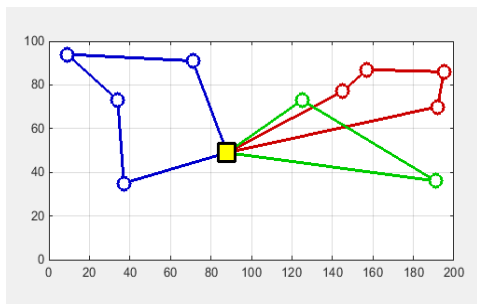
در رویکرد پیشنهادی در این مقاله تجهیزات حمل و نقل این شرکت در محدوده مورد بررسی یک کامیون در نظر گرفته شده است که از یک انبار داروی موجود این شرکت به دریافت داروها پرداخته و به داروخانه‌های طرف قرارداد که تعداد ۱۰ داروخانه در محدوده خیابان آبرسان، خیابان ۱۷ شهریور جدید و میدان

گرفته شده‌اند که اسامی این داروخانه‌ها قبلاً ذکر شده است روش پیشنهادی با استفاده از الگوریتم خفاش به دنبال یافتن مسیر بهینه از بین مسیرهای متعدد موجود بین انبار و داروخانه‌ها می‌باشند که این مسیر بهینه با در نظر گرفتن کمترین هزینه انتخاب می‌شوند. در شکل ۶ از بین مسیرهای موجود سه مسیر به عنوان مسیرهای بهینه انتخاب شده و وسیله نقلیه حاوی دارو برای سرویس‌دهی به داروخانه‌های موجود سه مسیر را به عنوان مسیرهای بهینه برای حرکت از این مسیرها تشخیص داده و انتخاب کرده است و از طریق این مسیرها داروها را به مقصد می‌رساند.



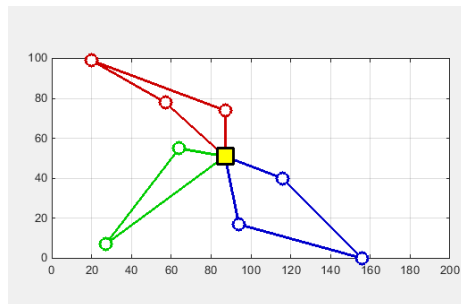
شکل ۶. هزینه بر روی مجموعه داده اول

شکل ۷ نمایش‌دهنده میزان بهبود روش پیشنهادی را تحت مجموعه داده‌های اول به صورت عددی نشان می‌دهد که نشان‌دهنده کاهش هزینه برای مسأله مسیریابی وسایل نقلیه مورد نظر با توجه به الگوریتم پیشنهادی است. این روش بر روی مجموعه داده‌های مختلفی انجام گرفته است که در ادامه نتایج به دست آمده از این داده‌ها و اعمال روش مورد نظر بر روی آن‌ها ارائه شده است.



شکل ۷. نمایش حالت بهینه به دست آمده برای دومین مجموعه داده در شکل ۸، دومین مجموعه داده با افزایش تعداد داروخانه بر

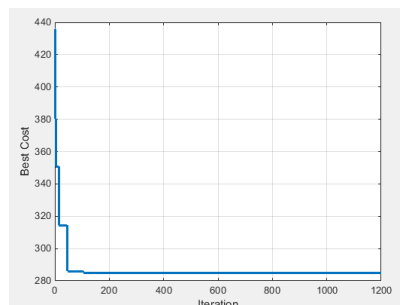
پیشنهادی در محیط نرم‌افزار MATLAB، در ادامه آورده شده است. بعد از انتخاب مجموعه داده مورد نظر برنامه شروع به اجرا می‌کند که در تکرارهای مختلف بهترین هزینه محاسبه شده و این کار (اجرای برنامه) تا رسیدن به شرط خاتمه ادامه می‌یابد. بعد از رسیدن به شروط توقف اجرا، نتایجی همانند آنچه در ادامه ارائه شده است به دست خواهد آمد.



شکل ۵. نمایش حالت بهینه به دست آمده برای اولین مجموعه داده

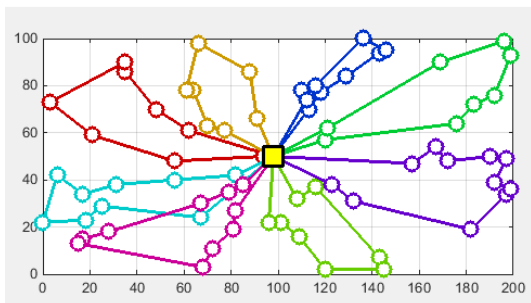
شکل ۵، نمایش حالت بهینه قرارگیری انبار و داروخانه‌ها و مسیریابی بین انبار تا داروخانه‌ها و بهترین مسیر انتخاب شده در بین داروخانه و انبار را در حالتی که تعداد داروخانه ۸ عدد باشد نشان می‌دهد. در این مسأله تعدادی گره با تقاضا وجود دارد، که تقاضایشان از طریق یک انبار واحد پاسخ داده می‌شود. وسایل نقلیه از انبار شروع به حرکت کرده و از گره‌ها رد می‌شود سپس به انبار باز می‌گردد. نمودار به دست آمده در یک فضای جستجو  $100 \times 200$  در نظر گرفته شده است انبار و داروخانه‌ها به ترتیب با نمادهای مربع و دایره نمایش داده شده است. شکل فوق یک شکل نمادین از نحوه قرارگیری و نشان دادن ثابت بودن محل استقرار انبار و داروخانه‌ها می‌باشند محل استقرار انبار در خارج از شهر تبریز بوده و شکل فوق فقط نمادی از محل انبار و نحوه مسیریابی وسیله نقلیه حاوی دارو به سمت داروخانه‌ها می‌باشد و طرز قرارگیری محل انبار در بین داروخانه‌ها نشان از محل استقرار انبار در بین شهر و مختصات بین داروخانه‌ها به هیچ وجه نمی‌باشد. وسیله نقلیه حاوی دارو به عنوان هدف سه منطقه موجود در شهر تبریز را که شامل خیابان ۱۷ شهریور، خیابان آبرسان و میدان جهاد می‌باشد در نظر می‌گیرد و در این مناطق ۱۰ داروخانه به عنوان داروخانه‌های هدف برای پخش دارو در نظر

مسئله مورد بررسی اعمال شده و نتایج حاصل از حالت بهینه برای مسیریابی به دست آمده است.



شکل ۸. هزینه بر روی مجموعه داده دوم

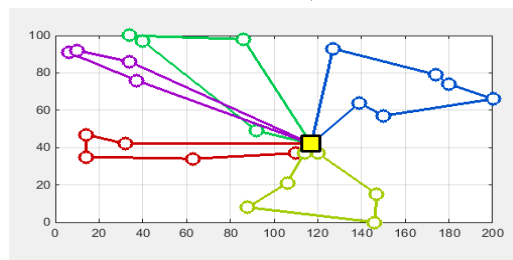
در شکل ۱۱ نیز نتایج با اعمال مجموعه داده‌های سوم به دست آمده است. شکل ۱۱ نمایش حالت بهینه قرارگیری انبار و داروخانه‌ها و مسیریابی بین انبار تا داروخانه‌ها و بهترین مسیر انتخاب شده در بین داروخانه و انبار را در حالتی که تعداد داروخانه‌ها برابر با مجموعه داده‌های سوم نشان می‌دهد. در این مسئله تعدادی گره با تقاضا وجود دارد، که تقاضایشان از طریق یک انبار واحد پاسخ داده می‌شود. وسایل نقلیه از انبار شروع به حرکت کرده و از گره‌ها رد می‌شود سپس به انبار باز می‌گردد. شکل ۱۱ حوه حرکت از انبار و گذر از گره‌ها که در واقع نشان-دهنده داروخانه‌هایی که درخواست داده‌اند می‌باشند که در واقع این تصویر شکل نهایی و مسیریابی ایجاد شده را نشان می‌دهد.



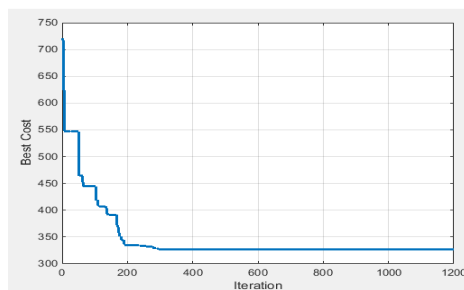
شکل ۱۱. نمایش حالت بهینه به دست آمده برای چهارمین مجموعه داده

در شکل ۱۲، چهارمین مجموعه داده با افزایش تعداد داروخانه بر مسئله مورد بررسی اعمال شده و نتایج حاصل از حالت بهینه برای مسیریابی به دست آمده با این تعداد داده ارائه شده است.

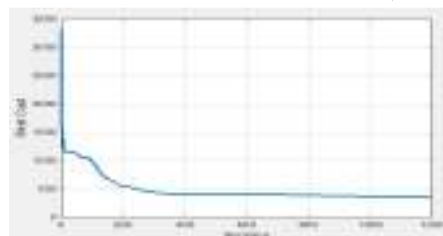
در شکل ۹ نیز نتایج به دست آمده برای هزینه به دست آمده با اعمال مجموعه داده‌های دوم به دست آمده است.



شکل ۹. نمایش حالت بهینه به دست آمده برای سومین مجموعه داده در شکل ۱۰ سومین مجموعه داده با افزایش تعداد داروخانه بر مسئله مورد بررسی اعمال شده و نتایج حاصل از حالت بهینه برای مسیریابی به دست آمده است.



شکل ۱۰. هزینه بر روی مجموعه داده سوم



شکل ۱۲. هزینه بر روی مجموعه داده چهارم

## ۵- نتیجه گیری

مسئله مسیریابی وسایل نقلیه و انواع مختلف آن یک حوزه مطالعاتی مهم در صنعت لجستیک، حمل و نقل و زنجیره تأمین است. صنعت لجستیک و به خصوص توزیع کالا به دلیل ارتباط با تصمیمات موجودی، تولید و همچنین هزینه‌های تحویل کالا به مشتری به عنوان نقطه عطفی در فعالیت‌های تجاری محسوب می‌شود. همواره مهم‌ترین چالش در مسئله مسیریابی وسیله نقلیه نیاز به کاهش هزینه حمل و نقل و کاهش مدت زمان طی مسیر است. با توجه به این که روزانه، هزاران شرکت که در امور تحویل، جمع‌آوری، حمل و نقل اشیاء و انسان‌ها فعالیت دارند، با این مشکل درگیر هستند، اهمیت موضوع آشکار می‌گردد. در فرآیند توزیع و پخش دارو، انتقال دقیق و منظم دارو از انبار کارخانه یا انبار مراکز پخش به داروخانه از اهمیت به سزایی برخوردار است. توزیع و پخش بهینه و مؤثر دارو سبب پیشگیری از انقضای تاریخ مصرف دارو شده و همچنین مانع از انباشت داروهای کم‌مصرف و مازاد در کارخانجات و شرکت‌های تولیدی می‌گردد. از سوی دیگر با توجه به پراکندگی داروخانه‌ها در سطح کلانشهر تبریز و همچنین ضرورت اتمام عملیات دارورسانی در بازه زمانی معین، نیاز به مسیریابی وسیله نقلیه با پنجره زمانی صحیح و دقیق وجود دارد. نمایش حالت بهینه قرارگیری انبار و

داروخانه‌ها و مسیریابی بین انبار تا داروخانه‌ها و بهترین مسیر انتخاب شده در بین داروخانه و انبار را در حالتی که تعداد داروخانه متفاوت می‌باشد نشان داده شده است. در این مسئله تعدادی گره با تقاضا وجود دارد، که تقاضایشان از طریق یک انبار واحد پاسخ داده می‌شود. وسایل نقلیه از انبار شروع به حرکت کرده و از گره‌ها رد می‌شود سپس به انبار باز می‌گردد. در خروجی‌های به دست آمده نحوه حرکت از انبار و گذر از گره‌ها که در واقع نشان‌دهنده داروخانه‌هایی که درخواست داده‌اند هستند که در واقع این تصاویر شکل نهایی و مسیریابی ایجاد شده را نشان می‌دهد. همچنین هزینه مسیریابی در هر حالت با افزایش و کاهش تعداد داروخانه‌ها بررسی و ارائه شده است. همچنین اعتبارسنجی مقاله با استفاده از نرم‌افزار GAMS صورت گرفت و نتایج حاصل ارائه گردید. در کارهای آتی می‌توان از الگوریتم‌های شبکه‌های عصبی، نروفازی (Anfis)، یادگیری ماشین، الگوریتم‌های ترکیبی و استفاده از سایر الگوریتم‌های فراابتکاری برای مسیریابی و یافتن بهترین مسیر استفاده کرد.

## ۶- مراجع

-شهرآئینی، د. علینقیان، م. و حسن زاده، ا. (۱۳۹۵)، "مسئله مکان یابی پوشش ظرفیت‌دار چند حالتی با وزن و تقاضای غیر قطعی"، دومین کنفرانس بین‌المللی دستاوردهای نوین پژوهشی در مکانیک، صنایع و هوافضا، تهران، باشگاه پژوهشگران جوان و نخبگان، <https://www.civilica.com>.

-علی‌احمدی، ع.ر.، هاشمی‌امیری، س. نوذری، ح. و سیدطه حسین مرتجی، (۱۳۹۱)، "ارایه مدل ترکیبی مکان‌یابی موجودی مسیریابی برای طراحی شبکه زنجیره‌های تأمین چندسطحی"، نهمین کنفرانس بین‌المللی مهندسی صنایع، تهران، انجمن

-امیریان، ف. خادمی زارع، ح. و اخوان، ا. (۱۳۹۶)، "توسعه مدل AHP به منظور ارزیابی عملکرد پویا با لحاظ کردن پنجره زمانی، همایش بین‌المللی مدیریت و حسابداری ایران، بابل، مرکز همایش‌های کوشا گستر، <https://www.civilica.com>.

-سلیم، ا. و ملکی‌نیا، م. (۱۳۹۶)، "مدیریت هزینه با کاهش هزینه‌های حمل و نقل با کمک مدل LINGO و Lindo و مقایسه تحلیلی نتایج آنها (مطالعه موردی معدن منیزیت سربیشه)"، کنفرانس بین‌المللی عمران، معماری و شهرسازی ایران معاصر، تهران، دانشگاه اسوه - تهران - دانشگاه شهید بهشتی، <https://www.civilica.com>.

<https://doi.org/10.1631/jzus.2006.A0607>

-Clarke, G., & Wright, J. W., (1964), "Scheduling of Vehicles from a Central Depot to a Number of Delivery Points. Operations Research, 12(4), pp.568-581. <https://doi.org/10.1287/opre.12.4.568>.

-Dantzig, G. B., & Ramser, J. H., (1959), "The Truck Dispatching Problem, Management Science, 6(1), pp.80-91. <https://doi.org/10.1287/mnsc.6.1.80>.

-Lenstra, J. K., & Kan, A. H. G. R., (1981), Complexity of vehicle routing and scheduling problems. Networks, 11(2), pp.221-227. <https://doi.org/doi:10.1002/net.3230110211>.

-Mirabi, M., Fatemi Ghomi, S. M. T., & Jolai, F. (2010). Efficient stochastic hybrid heuristics for the multi-depot vehicle routing problem. Robotics and Computer-Integrated Manufacturing, 26(6), 564-569. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.rcim.2010.06.023>.

-Yang, X.-S., (2010), "A New Metaheuristic Bat-Inspired Algorithm. In J. R. González, D. A. Pelta, C. Cruz, G. Terrazas, & N. Krasnogor (Eds.), Nature Inspired Cooperative Strategies for Optimization (NICSO 2010), pp. 65-74. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg. [https://doi.org/10.1007/978-3-642-12538-6\\_6](https://doi.org/10.1007/978-3-642-12538-6_6)

مهندسی صنایع ایران، دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی، <https://www.civilica.com>

-قصیری، ک. و قنادپور، س.ف. (۱۳۸۷)، "مساله مسیریابی وسایل نقلیه همراه با پنجره زمانی با استفاده از الگوریتم ژنتیک"، ششمین کنفرانس بین المللی مهندسی صنایع، تهران، انجمن مهندسی صنایع ایران، دانشگاه صنعتی شریف، <https://www.civilica.com>

-کاظمی، ا. صرافها، ک. و علی نژاد، ع.ر.، (۱۳۹۱)، "بهینه‌سازی مسئله برنامه‌ریزی یکپارچه تولید- توزیع در یک شبکه زنجیره تامین چند سطحی، سومین همایش ملی مهندسی صنایع و سیستم، تهران، دانشگاه آزاد اسلامی واحد تهران جنوب، <https://www.civilica.com/Paper-SIEC03->

-میرحسینی، س.، قنبری، م. و حسینی، س.، (۱۳۹۲)، "بازآرایی شبکه توزیع به صورت چند هدفه با استفاده از الگوریتم کلونی مورچگان اصلاح شده"، پنجمین کنفرانس ملی مهندسی برق و الکترونیک ایران، دانشگاه آزاد اسلامی واحد گناباد.

-Bae, S.-T., Hwang, H. S., Cho, G.-S., & Goan, M.-J. (2007), "Integrated GA-VRP solver for multi-depot system. Computers & Industrial Engineering, 53(2), 233-240. <https://doi.org/10.1016/j.cie.2007.06.014>.

-Calvo, R. W., (2000), "A New Heuristic for the Traveling Salesman Problem with Time Windows", Transportation Science, 34(1), pp.113-124.

<https://doi.org/10.1287/trsc.34.1.113.12284>

-Chen, A., Yang, G., & Wu, Z., (2006), "Hybrid discrete particle swarm optimization algorithm for capacitated vehicle routing problem", Journal of Zhejiang University-SCIENCE A, 7(4), pp.607-614.



# **Solving Problem of Routing Drug Distribution Vehicle Routing in Tabriz City with Time Window by Bat Metabolism Algorithm**

*Mohammad Reza Asadollahi, Department of Industrial Engineering, Islamic Azad  
University, Bonab Branch, Bonab, Iran.*

*Ali Derakhshan, Assistant Professor, Department of Industrial Engineering, Islamic Azad  
University, Bonab Branch, Bonab, Iran.*

*Mehdi Yousefi, Assistant Professor, Department of Industrial Engineering, Islamic Azad  
University, Bonab Branch, Bonab, Iran.*

*Vida Karbasi Bonab, M.Sc., Department of Industrial Engineering, Mechanic and  
Industrial Faculty, Islamic Azad University, Qazvin Branch, Qazvin, Iran.*

*E-mail: mahdi\_108108@yahoo.com*

Received: February 2020 -Accepted: June 2020

## **ABSTRACT**

There have been many studies on how to model problem types, develop problem assumptions to adapt to real-world application conditions, and develop or develop problem-solving methods to obtain better results. In this paper, we aim to use single-target bat algorithm for drug distribution process in Tabriz metropolitan area in order to solve the problem of vehicle routing with time window. Due to the continuous nature of the metadata algorithm, how it is generated and decoded, a new routing solution is designed that gives the shortest transport path in the shortest possible time. In this regard, the distribution of the drug has been considered by Mohyadaru Distribution Company, a non-technical business-service company. In order to evaluate the performance of the proposed method, issues of different dimensions have been applied based on the actual issues related to drug delivery to existing pharmacies in the city of Tabriz by Mohyadaroo Company. The results show that the optimal routing is done due to the nature of the meta-algorithm optimization and the costs spent for this task are significantly reduced compared to the previous work.

**Keywords:** BAT Algorithm, Shortest Path, Scorpio, Routing