https://doi.org/10.22131/SEPEHR.2023.1987179.2944

فصلنامه علمی - پژوهشی

اطلاعات جغرافیایی (سپهر) دوره ۳۲، شماره ۱۲۸، زمستان ۱۴۰۲

صفحات ۶۰ - ۴۵

# برآورد مکانی و زمانی مسیر بهینه توزیع مواد فاسدشدنی با الگوریتم‌های تکاملی مطالعه موردی: میوه و تره‌بار

حسین اعتمادفرد[۱]

حامد خرقانی[۲]

مهدی نجاریان[۳]

روزبه شاد[٤]

تاریخ دریافت مقاله: ۱٤۰۱/۱۱/۲٦

تاریخ پذیرش مقاله: ۱٤۰۲/۰۳/۱۲

*********

## چکیده

امروزه مدیریت شبکه‌های توزیع مواد غذایی با هدف پاسخ‌گویی سریع به تقاضای مصرف‌کنندگان، کاهش هزینه توزیع و افزایش سود در مقایسه با رقبای تجاری اهمیت بسیاری یافته است. فروشگاه‌های "شهرما" شبکه گسترده توزیع محصولات کشاورزی در شهر مشهد هستند که با هدف عرضه مستقیم محصولات کشاورزی و فراهم نمودن امکان دسترسی ارزان و سریع‌تر شهروندان به میوه و تره‌بار شکل گرفته‌اند. در این مقاله، مسیرهای توزیع بهینه و به موقع محصولات فروشگاه‌هایی با نام تجاری "شهرما" از مبدأ تا میدان میوه و تره‌بار مورد بررسی قرار می‌گیرد. به این منظور از الگوریتم‌های تکاملی ژنتیک و ازدحام ذرات برای بهینه کردن زمان توزیع استفاده شده است. برای توزیع عادلانه و به موقع محصولات میان تمام فروشگاه‌ها یک قید زمانی سه ساعته وارد مسئله شده است. به این معنی که اگر توزیع میان تمام فروشگاه‌ها در زمان کمتر از سه ساعت صورت نگیرد به تعداد یک وسیله نقلیه توزیع جدید به مسئله اضافه خواهد شد. این افزایش تعداد وسایل نقلیه تا جایی ادامه پیدا خواهد کرد که توزیع میان تمام فروشگاه‌ها کمتر از سه ساعت صورت پذیرد. به‌منظور تعیین زمان مسیر میان فروشگاه‌ها بر روی شبکه راه‌های شهر مشهد از آنالیز شبکه در نرم‌افزار ArcGIS استفاده شده است. در انتها دو الگوریتم ژنتیک و ازدحام ذرات توانستند توزیع میوه و تره‌بار را با چهار وسیله نقلیه انجام دهند. مقایسه نتایج دو الگوریتم نشان می‌دهد که مجموع زمانی توزیع در الگوریتم ژنتیک در مقایسه با الگوریتم ازدحام ذرات ٤۷ دقیقه کمتر بوده و الگوریتم ژنتیک، مسیرهای بهتری را برای توزیع پیشنهاد داده است.

**واژه‌های کلیدی: بهینه‌سازی مسیر، الگوریتم ژنتیک، الگوریتم ازدحام ذرات، سیستم اطلاعات مکانی (GIS)**

*********

۱- استادیار گروه مهندسی عمران، دانشکده مهندسی، دانشگاه فردوسی، مشهد، ایران (نویسنده مسئول) etemadfard@um.ac.ir

۲- دانشجوی کارشناسی ارشد سیستم اطلاعات مکانی (GIS)، گروه مهندسی عمران، دانشکده مهندسی، دانشگاه فردوسی، مشهد، ایران ha.kharaghani@gmail.com

۳- دانشجوی کارشناسی ارشد سیستم اطلاعات مکانی (GIS)، گروه مهندسی عمران، دانشکده مهندسی، دانشگاه فردوسی، مشهد، ایران mahdi76najjarian@gmail.com

٤- دانشیار گروه مهندسی عمران، دانشکده مهندسی، دانشگاه فردوسی، مشهد، ایران r.shad@um.ac.ir

## ۱- مقدمه

طبق پیش‌بینی‌های انجام شده، تقاضای غذای جهانی تا سال ۲۰۳۰، ۵۰٪ نسبت به سال ۲۰۱۹ افزایش خواهد داشت ***(Mogale et al., 2011)***. افزایش روزافزون تقاضا برای مصرف مواد غذایی به‌صورت پایدار و همچنین تغییر الگوی مصرف، منجر به تلاش برای بهبود فرآیند توزیع مواد غذایی با هدف تسریع در خدمت‌رسانی و جلوگیری از فساد مواد فاسدشدنی شده است ***(Melkonyan et al., 2020)***. رفع نیازمندی‌های عمومی شهروندان به‌ویژه تأمین مواد غذایی یکی از مهم‌ترین محورهای فعالیت‌های خدمات شهری در بستر اقتصادی شهر بوده و تأمین آسایش و رفاه شهرنشینان در گرو استقرار مناسب، توزیع بهینه و تنوع کافی محصولات عرضه‌شده در مراکز خرید است ***(Borimnezhad & Rahimibidar, 2016)***. از جمله خدمات شهری که به موجب قانون شهرداری‌ها، ارائه آن به عهده مدیریت شهری است، ایجاد بازارهای روز و میادین میوه و تره‌بار به منظور عرضه سریع و مناسب مایحتاج روزانه شهروندان است. این میادین مکان‌هایی مشخص هستند که برای تسهیل در امر تهیه و توزیع میوه و تره‌بار و محصولات کشاورزی اختصاص می‌یابند***(فیلی و سهیلی‌نیا، ۱۳۹۰)***.

شهرداری مشهد به‌منظور عرضه سریع و مناسب میوه و تره‌بار روزانه شهروندان اقدام به تأسیس فروشگاه‌های "شهرما" در سطح شهر مشهد کرده است. محصولات موجود در فروشگاه‌های "شهرما" به‌صورت روزانه به‌وسیله میادین میوه و تره‌بار تأمین می‌شوند. به همین دلیل، توزیع روزانه و به موقع محصولات قبل از بازگشایی فروشگاه‌ها امری ضروری است.

پدیده فسادپذیری از مباحث پراهمیت در زنجیره تأمین مواد غذایی است که برای دسته خاصی از محصولات مانند میوه‌ها، سبزیجات و لبنیات ممکن است رخ بدهد. فسادپذیری خاصیتی از یک کالا است که بعد از یک دوره زمانی معین کالا خراب می‌شود و ارزش تجاری و کاربردپذیری خود را از دست می‌دهد ***(جامی‌الاحمدی وهمکاران، ۱۳۹۰)***. میوه‌ها و سبزیجات اجزای مهم رژیم غذایی هستند که رنگ‌های متنوع، طعم‌های منحصربه‌فرد و طیف وسیعی دارند و نقش مهمی در تغذیه، سلامت و رفاه عمومی مردم ایفا می‌کنند ***(Aworh, 2011)***. از بین رفتن کیفیت و ارزش میوه و تره‌بار به‌صورت ناگهانی یا تدریجی می‌تواند ناشی از عوامل متعددی از جمله حمل‌ونقل باشد. فاسدشدن سریع محصولات غذایی باعث کاهش کیفیت، سودآوری و پایداری مواد غذایی می‌شود. براساس گزارش‌های فائو از ۲۰ تا ٦۰ درصد کل تولیدات در همه کشورها و یک سوم محصولات غذایی برای مصرف انسان در جهان پس از برداشت از بین می‌رود ***(جهانبخش و توحیدی، ۱۳۹۹)***.

در مسائل مسیریابی وسایل نقلیه (VRP)[1]مرتبط با مواد غذایی باید مسیرهایی برای وسایل نقلیه ایجاد شوند که با برنامه‌های زمانی هر فروشگاه برای تحویل محصولات مطابقت داشته باشند. در برخی از زمان‌بندی‌های توزیع محصولات محدودیت زمانی وجود ندارد اما در برخی موارد باید حتماً به زمان توزیع توجه شود ***(Toth & Vigo, 2020)***. تاکنون مطالعات متعددی بر روی بهینه‌سازی مسیر صورت گرفته است (شریفی و همکاران، ۱۳۹۷) (معصوم‌نژاد و همکاران، ۱۳۹۷) (سهامی و رمضانی، ۱۳۹۷) (حاجی‌زاده و همکاران، ۱۳۹٦).

اولین بار دنتزیگ و رامسر (۱۹۵۹) به بهینه‌سازی مسیر حرکت ناوگان گازوییل میان مبدأ و مقصدهای مشخص پرداختند ***(Dantzig & Ramser , 1959)***.

بودین (۱۹۸۳) کتابچه‌ای باعنوان مسیریابی و برنامه‌ریزی وسایل نقلیه تهیه نمود و به بررسی چگونگی حل این مسائل و ارائه روش‌های VSA[2]، CSA[3] و Dial-a-Ride Demand پرداخته است ***(Bodin et all, 1983)***.

وانگ و همکاران (۲۰۲۳) در پژوهشی با عنوان «بهینه‌سازی مسیر حمل و نقل چندهدفه برای مواد خطرناک براساس GIS» به انتخاب بهترین مسیر برای حمل و نقل مواد

1- Vehicle Routing Problem
2- Vehicle Scheduling Algorithms
3- Crew Scheduling Algorithms

خطرناک پرداختند. در این مطالعه نه تنها از ریسک در شبکه اطمینان حاصل شده، بلکه هزینه حمل و نقل و عواملی مانند ساختمان‌ها و تأسیسات اضطراری اطراف مسیرها نیز درنظر گرفته می‌شود. همینطور از سیستم اطلاعات مکانی (GIS) برای تعیین کمیت عوامل در هر بخش در شبکه استفاده می‌شود. در این مطالعه یک مدل بهینه‌سازی برنامه‌ریزی خطی اعداد صحیح مختلط چندهدفه اپسیلونی برای یافتن راه‌حل‌های بهینه‌سازی حمل‌ونقل قوی و پایدار ارائه شده است. در پایان، تجزیه و تحلیل موردی روش پیشنهادی را برای تعیین بخش‌های بزرگراه در استان جیانگ سو، چین و آزمایش الگوریتم فوق در شبکه، که دارای ۱٤٤ گره و ۳۸۸ بخش است، ارائه می‌کنند. نتایج حاصل نشان می‌دهد که عوامل ساختمان‌ها نقش بسیار مهمی در مدل دارند و مدل بهینه‌سازی خطی اعداد صحیح مختلط چندهدفه معقول است و کیفیت خوبی دارد ***(Wang et all, 2023)***.

تای و یئونگ (۲۰۲۲) با مطالعه مدلی از اتوماتای سلولی (CA)[1] دوبعدی، مدل‌سازی خاصی را انجام دادند که هدف آن رسیدن به مقصد از طریق کوتاه‌ترین مسیر است. در این پژوهش، مسیر هر وسیله نقلیه جداگانه براساس شرایط ترافیکی محلی، برنامه‌ریزی می‌شود، تا وسیله نقلیه از طریق مسیر کوتاه‌تری در منطقه‌ای بدون تراکم حرکت کند یا مسیرهای فرعی کم تراکم اما طولانی‌تری را در یک منطقه شلوغ جایگزین نماید. نتایج این پژوهش نشان داد که تعداد بهینه گام‌ها برای راه‌اندازی به‌روزرسانی کوتاه‌ترین مسیر به تراکم وسایل نقلیه بستگی دارد ***(Tie & Yeung, 2022)***.

فنگ و همکاران (۲۰۲۲)، در مطالعه‌ای، به بررسی حمل و نقل محصولات سرد و تازه از محل مبدأ تا محل فروش پرداختند. در این پژوهش ابتدا یک مدل برنامه‌ریزی مسیر لجستیک طولانی‌مدت، شامل هزینه فساد کالا و هزینه انتشار کربن و چندین عامل دیگر، توسعه می‌یابد. در مرحله دوم، یک الگوریتم بهبود یافته کلنی مورچه (ACO)[2] برای راه حل بهینه مدل استفاده می‌شود. مدل و روش ارائه شده در این مقاله به کاهش هزینه در فرآیند حمل و نقل زنجیره سرد در مسافت‌های طولانی کمک می‌کند و ارزش کاربردی عملی را به ارمغان می‌آورد ***(Fang et all, 2022)***.

بسکوسکا (۲۰۱۹)، در پژوهشی به ارائه‌ی مدلی برای انتخاب مسیری بهینه و کم‌ریسک، به‌منظور انتقال کالاهای خطرناکی مانند سوخت مایع، کلر، آمونیاک، گازها، مواد خورنده، مواد رادیواکتیو پرداخت. این مدل مسیرهایی را تولید کرده که از منظر ریسک و کاهش تلفات، بهینه هستند. بعلاوه، این مقاله نتایج تحقیقات شبیه‌سازی مسیرهای تحویل انتخاب شده را با استفاده از الگوریتم جستجوی اول عرض (BFS)[3] و برنامه اختصاصی به نام ایمن‌ترین مسیریاب، اتخاذ می‌کند ***(Bęczkowska, 2019)***.

دسروچرز و همکاران (۱۹۹۰) مدلی به‌منظور طبقه‌بندی مشکلات و برنامه‌ریزی برای مسیریابی وسایل نقلیه ارائه دادند ***(Desrochers et al, 1990)***.

در پژوهش‌های داخلی نیز کریمی و ستاک (۲۰۱۲) به بهینه‌سازی مسیریابی وسایل نقلیه با در نظر گرفتن داده بازه‌ای برای زمان سفر پرداختند ***(کریمی و ستاک، ۱۳۹۱)***. در پژوهشی دیگر وحدانی و طاهروردی (۱۳۹۸) با استفاده از الگوریتم‌های فرا ابتکاری یک مدل برنامه‌ریزی غیرخطی توسعه داده و مسئله مکانیابی موجودی مسیریابی در یک شبکه زنجیره تأمین چند سطحی را حل کردند ***(وحدانی و طاهروردی، ۱۳۹۸)***.

کارگری و اسدی (۲۰۱۹)، یک الگوریتم مسیریابی وسایل نقلیه چند قرارگاهی و چند محصولی ارائه نمودند که در آن یک سیستم مسیریابی خودرو به‌صورت پویا و براساس سفارشاتی که به‌طور مداوم در طول روز دریافت می‌نماید، قابل‌اجرا خواهد بود ***(کارگری و اسدی، ۱۳۹۸)***.

در پژوهشی دیگر به مسئله مکان‌یابی و مسیریابی باز در زنجیره تأمین چهارسطحی به عنوان یک مدل ریاضی چندهدفه با در نظر گرفتن عوامل توسعه پایدار پرداخته شده است ***(جعفری، ۱۳۹۹)***.

1- Cellular Automata
2- Ant Colony Optimization
3- Breadth First Search

طهماسبی و زرەپوش (۱۳۹۹) نیز مدلی از مسیریابی وسایل نقلیه ارائه نمودند که در آن پنجره زمانی و تقاضای چندمحصولی مشتریان، در حالت عدم قطعیت و به‌صورت فازی در نظر گرفته شده است *(امین‌طهماسبی، زرهپوش، ۱۳۹۹)*.

آهی‌زاده و عمل نیک، یک شبکه چهار سطحی زنجیره تأمین تحت شرایط اختلال شامل سطوح تأمین، تولید، توزیع و مشتری را طراحی و بهینه‌سازی کردند. آن‌ها از یک رویکرد سناریو محور برای کنترل اختلال استفاده کرده و در سه سناریو شرایط را بررسی نمودند. در این تحقیق یک مدل ریاضی با در نظر گرفتن مفروضات مکان‌یابی مسیریابی توأمان توسعه داده شد *(آهی‌زاده و عمل‌نیک، ۱۳۹۹)*.

گرمابکی و همکاران یک مدل برنامه‌ریزی آرمانی عدد صحیح مختلط مکانیابی مسیریابی را به منظور برنامه‌ریزی و طراحی سیستم مدیریت پسماند زیان‌بار ارائه کردند. مدل ارائه شده دو هدف حداقل کردن هزینه کل و حداقل کردن ریسک مسیر انتقال را دارا بوده است *(گرمابکی و همکاران، ۱۳۹۶)*.

در زمینه استفاده از الگوریتم‌های تکاملی در حل مسائل بهینه‌سازی مسیر مطالعات گوناگونی صورت گرفته است. آقاجان‌زاده (۱۳۸۸) مسئله فرضی مسیریابی اتوبوس‌های درون‌شهری را به کمک الگوریتم ژنتیک مورد بررسی قرار داده است. در این پژوهش با معرفی الگوریتم ژنتیک، کروموزوم‌های مسئله تشکیل و عملگرهای مورد نیاز بر یک مسیر فرضی اعمال شده است. همچنین دو الگوریتم برای اعمال جهش و تقاطع پیشنهاد شده که در پاسخ به نیازهای این مسئله عملکرد مناسبی داشته است *(آقاجان‌زاده، ۱۳۸۸)*.

در پژوهشی دیگر شهرآیینی و همکاران(۱۳۸٦) به حل مسئله حجم محدود مسیریابی وسایل نقلیه (CVRP)[1] با استفاده از الگوریتم ژنتیک پرداخته‌اند و این الگوریتم را روش مناسبی برای حل این مسئله معرفی نمودند *(شهرآیینی و همکاران، ۱۳۸٦)*.

اسماعیل‌زاده و همکاران (۱۳۹۵) نیز در پژوهشی مسیرهای بهینه برای مترو را با الگوریتم کلونی مورچه‌ها برای شهر تبریز انتخاب کردند. آن‌ها با انتخاب شش معیار مؤثر شامل شیب، جمعیت، مناطق مهم، پارک‌ها، خطوط نیرو و فاصله از راه‌ها، از تحلیل‌های مکانی و الگوریتم کلونی مورچگان استفاده کردند تا سه مسیر مناسب برای اتصال خط مترو تبریز به شهرک خاوران را معرفی نمایند *(اسماعیل‌زاده و همکاران، ۱۳۹۵)*.

احمدی طیفکانی (۱۳۹۷) پژوهش دیگری را در زمینه بهینه‌سازی مسیر ایستگاه‌های حمل نقل عمومی با استفاده از الگوریتم کلونی مورچگان انجام داده است. این پژوهش به دنبال این بود که با استفاده از این الگوریتم زمان سفر کل سیستم را تا حد امکان به حداقل رساند *(احمدی تیفکانی، ۱۳۹۷)*.

در مطالعه‌ای دیگر گورکانی و همکاران (۲۰۱۹) با ترکیب الگوریتم‌های ژنتیک و ازدحام ذرات مدلی برای بهینه‌سازی مسیر ارائه کردند. تابع هزینه به‌کاررفته در این پژوهش با درنظرگرفتن هزینه‌های مرتبط با ابنیه فنی (پل‌ها و تونل‌ها) بهبود داده شده است. مدل پیشنهادی برای حل مسئله یافتن مسیر بهینه در یک پروژه واقعی (شهر تبریز) به‌کار گرفته شد و جواب‌های حاصله از حل این مدل‌ها قابل‌قبول بوده است *(گرکانی و همکاران، ۱۳۹۸)*.

تحقیق پیش‌رو به منظور بهینه‌سازی مسیرهای توزیع میان میدان میوه و تره‌بار و فروشگاه‌هایی با نام تجاری "شهرما" در سطح شهر مشهد از الگوریتم‌های تکاملی ژنتیک و ازدحام ذرات استفاده کرده است. در این پژوهش با در نظر گرفتن محدودیت زمانی سه ساعته برای مسیر توزیع که در تحقیقات پیشین نمونه مشابه ندارد، الگوریتم حل مسئله بعد از یافتن مسیر بهینه قید زمانی را کنترل می‌کند و اگر قید زمانی برآورده نشود با اضافه کردن تعداد وسایل توزیع مسئله را مجددا حل می‌کند. در واقع این پژوهش با در نظر گرفتن یک قید زمانی سه ساعته در الگوریتم حل مسئله، نوآوری خود را ارائه می‌نماید که با اضافه شدن این قید مدل به حالت دینامیک تبدیل می‌شود که برای رسیدن به شرایط

1- Capacitated Vehicle Routing Problem

مطلوب شرایط حل مسئله را تغییر می‌دهد. اگر در بهترین حالت زمان توزیع میوه و تره‌بار میان فروشگاه‌های "شهرما" بیشتر از سه ساعت شود الگوریتم به ازای هر سه ساعت یک وسیله نقلیه به وسایل نقلیه توزیع اضافه کرده و مسئله را دوباره حل خواهد کرد تا توزیع محصولات در کمتر از سه ساعت به همه‌ی فروشگاه‌های "شهرما" انجام شود.

این مقاله از چهار بخش تشکیل شده است که در بخش حاضر مقدمه‌ای از مسئله و ضرورت انجام کار بیان شده و مطالعات پیشین در این زمینه بررسی شدند. در بخش دوم تئوری الگوریتم‌های مورد استفاده مطرح شده و اجزای آن‌ها معرفی می‌شود. در بخش سوم پیاده‌سازی الگوریتم‌ها و نتایج حاصل از آن‌ها بیان می‌شود. در آخرین بخش نیز نتیجه‌گیری پژوهش و پیشنهادهایی در زمینه کارهای آتی مطرح شده است.

## ۲- داده‌ها و روش تحقیق

این پژوهش از نظر نوع هدف کاربردی است. داده‌های مورد استفاده شامل موقعیت فروشگاه‌های "شهرما" و میدان‌بار از اطلاعات شهرداری مشهد تهیه شده است. به منظور بهینه‌سازی مسیر، الگوریتم‌های ژنتیک و ازدحام ذرات مورد استفاده قرار گرفته‌اند.

### ۲-۱- الگوریتم ژنتیک

الگوریتم ژنتیک (GA)[1] یک روش یادگیری بر پایه تکامل بیولوژیکی است. این روش در سال ۱۹۷۰ توسط جان هلند ابداع شد *(میرزاآقایی و همکاران، ۱۳۹۵)*. الگوریتم ژنتیک از مکانیسم فرضی انتخاب طبیعی الهام گرفته شده است که در آن مناسب‌ترین افراد در یک نسل بیشتر زنده می‌مانند و نسل جدید را تولید می‌کنند. هنگامی که ارزیابی تمام راه‌حل‌های ممکن از نظر زمان محاسبه بسیار پرهزینه باشند، از آن‌ها برای جستجوی راه‌حل‌های بهینه استفاده می‌شود. روند GA با تولید یک جمعیت اولیه آغاز می‌شود. سپس کلیه اعضای جامعه را با تابع هدف ارزیابی می‌کند تا برازش آن‌ها برای تعیین کیفیت (خوب بودن) کروموزوم برای مسئله خاص تعیین شود. تعریف تابع هدف بسیار مهم است، زیرا تعریف نامناسب تابع هدف می‌تواند جستجو را گمراه کند و در نتیجه بر راه‌حل حاصل تأثیر بگذارد. از مجموعه مقادیر برازش، زیرمجموعه‌ای از کروموزوم‌های با بالاترین عملکرد، با روش انتخاب به‌عنوان «والدین» انتخاب می‌شوند. ژن‌های والدین مبادله و ترکیب می‌شوند تا فرزندان نسل بعدی را تشکیل دهند. انتظار می‌رود که کروموزوم‌های جدید نه تنها ویژگی‌های برتر والدین را نشان دهند بلکه نسخه‌های بهبودیافته والدین آن‌ها هستند *(Kavzoglu et al, 2015)*. نگاره (۱- الف) فلوچارت مراحل پیاده‌سازی الگوریتم ژنتیک را نشان می‌دهد.

GA به‌طور پویا فرآیند جستجو را از طریق احتمالات تقاطع و جهش تغییر می‌دهد و به جواب بهینه می‌رسد. GA می‌تواند چندین راه‌حل بهینه تولید کند و از این‌رو، قابلیت جستجوی جهانی بهتری دارد. فرزندان حاصل از تقاطع کروموزوم‌های والد می‌توانند طرح‌واره‌های[2] ژنتیکی مناسب کروموزوم‌های والدین را از بین ببرند. فرمول تقاطع به‌صورت رابطه (۱) تعریف می‌شود:

$$R = (G + 2\sqrt{g})/3G$$

رابطه(۱)

که در آن g تعداد نسل‌ها و G تعداد کل نسل‌های تکاملی براساس جمعیت است. از معادله (۱) مشاهده می‌شود که R به‌صورت پویا تغییر می‌کند و با افزایش تعداد نسل‌های تکاملی افزایش می‌یابد. در مرحله اولیه GA، شباهت بین افراد بسیار کم است. مقدار R باید کم باشد تا اطمینان حاصل شود که جمعیت جدید طرح‌واره ژنتیکی عالی افراد را از بین نخواهد برد. در پایان تکامل، شباهت بین افراد بسیار زیاد است و همچنین مقدار R باید زیاد باشد. طبق قضیه طرح‌واره، طرح‌واره اصلی باید با طرح‌واره اصلاح شده جایگزین شود *(Katochet al, 2015)*.

1- Genetic algorithm

2- Schemas

## ۲-۲- الگوریتم ازدحام ذرات

بهینه‌سازی ازدحام ذرات (PSO)[1] یک تکنیک فراابتکاری است که از رفتار پرندگان در هنگام جستجوی غذا الهام گرفته شده است. PSO به‌عنوان یکی از مدرن‌ترین الگوریتم‌های فراابتکاری، برای نخستین بار توسط کندی و ابرهارت در سال ۱۹۹۵ ارائه شد. روش PSO حاصل شبیه‌سازی رفتار سیستم‌های اجتماعی ساده بوده و برای حل مسائل بهینه‌سازی غیرخطی پیوسته بسیار مناسب است *(کفاش‌چرندابی و آل‌شیخ، ۱۳۹۱)*.

عملکرد یک الگوریتم PSO به این گونه است که دسته‌ای از ذرات (به‌عنوان متغیرهای مسئله بهینه‌سازی) در محیط جستجو پخش می‌شوند. واضح است که بعضی از ذرات، موقعیت بهتری را نسبت به ذرات دیگر خواهند داشت. در نتیجه، بر طبق رفتار ذرات هجومی بقیه ذرات سعی می‌کنند موقعیت خود را به موقعیت ذرات برتر برسانند؛ درعین‌حال که موقعیت ذرات برتر نیز در حال تغییر است. شایان ذکر است که تغییر موقعیت هر ذره براساس تجربه خود ذره در حرکات قبلی و تجربه‌ی ذرات همسایه صورت می‌گیرد. در واقع هر ذره از برتری یا عدم برتری خود نسبت به ذرات همسایه و همچنین نسبت به‌کار گروه آگاه است *(Goleig et al, 2015)*. برای شبیه‌سازی این رفتار، فراسنج‌های زیر تعریف می‌شود:

الف) پارامتر Pbest بیانگر بهترین موقعیتی است که هر ذره در طول اجرای الگوریتم می‌تواند کسب کرده باشد.

ب) پارامتر Gbest بهترین موقعیتی را که ذرات در طول اجرای الگوریتم کسب کرده‌اند، نشان می‌دهد.

ج) پارامتر شناخت فردی($c_1$): این کمیّت باعث می‌شود که ذره به سمت بهترین نقطه‌ای که خود و همسایگانش پیدا کرده‌اند، حرکت کند. این ضریب، به‌عنوان ضریب تحریک به کار می‌رود.

ه) ضریب لختی (w): این ضریب، باعث ایجاد تعادل در جستجوی محلی و جستجوی کلی در الگوریتم می‌شود.

و) لغزش (v): این پارامتر، تغییر موقعیت ذره در محیط جستجو را نشان می‌دهد.

همچنین روابط (۲) و (۳) و (٤) الگوریتم PSO به شرح زیر هستند:

$$v_{j,g}^{(t+1)} = w v_{j,g} + c_1 \cdot \text{Rand}\, O\left(P\ \text{best}_{j,g} - x_{j,g}^{(t)}\right) c_2 \cdot \text{rand}\,() \cdot \left(\text{gbest}_{j,g} - x_{j,g}^{(t)}\right),$$
$$v_{min} \le v_{j,g}^{(t)} \le v_{max}$$

رابطه (۲)

$$x_{j,g}^{(t+1)} = x_{j,g}^{(t)} + v_{j,g}^{(t+1)} \quad j = 1,2,\dots,r \quad g = 1,2,\dots,m$$

رابطه (۳)

$$w = w_{max} - \frac{w_{max} - w_{min}}{\text{iter}_{max}} * \text{iter}$$

رابطه (٤)

در روابط (۲) و (۳) و (٤) مقدار x بیانگر موقعیت ذره، r تعداد ذرات گروه، m تعداد اعضای تشکیل‌دهنده ذره، $\text{iter}_{max}$ حداکثر تعداد تکرارها و iter شماره تکرار جاری است. همچنین توابع Rand() و rand() تولیدکننده یک مقدار تصادفی و بین صفر و یک هستند. نگاره (۱-ب) فلوچارت مراحل پیاده‌سازی الگوریتم ازدحام ذرات را برای حل مسائل مختلف، به‌طور کلی نشان می‌دهد.

## ۲-۳- مدل ریاضی مسئله

مدل ریاضی تحقیق با هدف کمینه‌سازی زمان مسیرهای طی شده توسط وسایل نقلیه و محدودیت سه ساعت برای هر وسیله نقلیه به شرح رابطه (۵) و (٦) است.

تابع هدف:

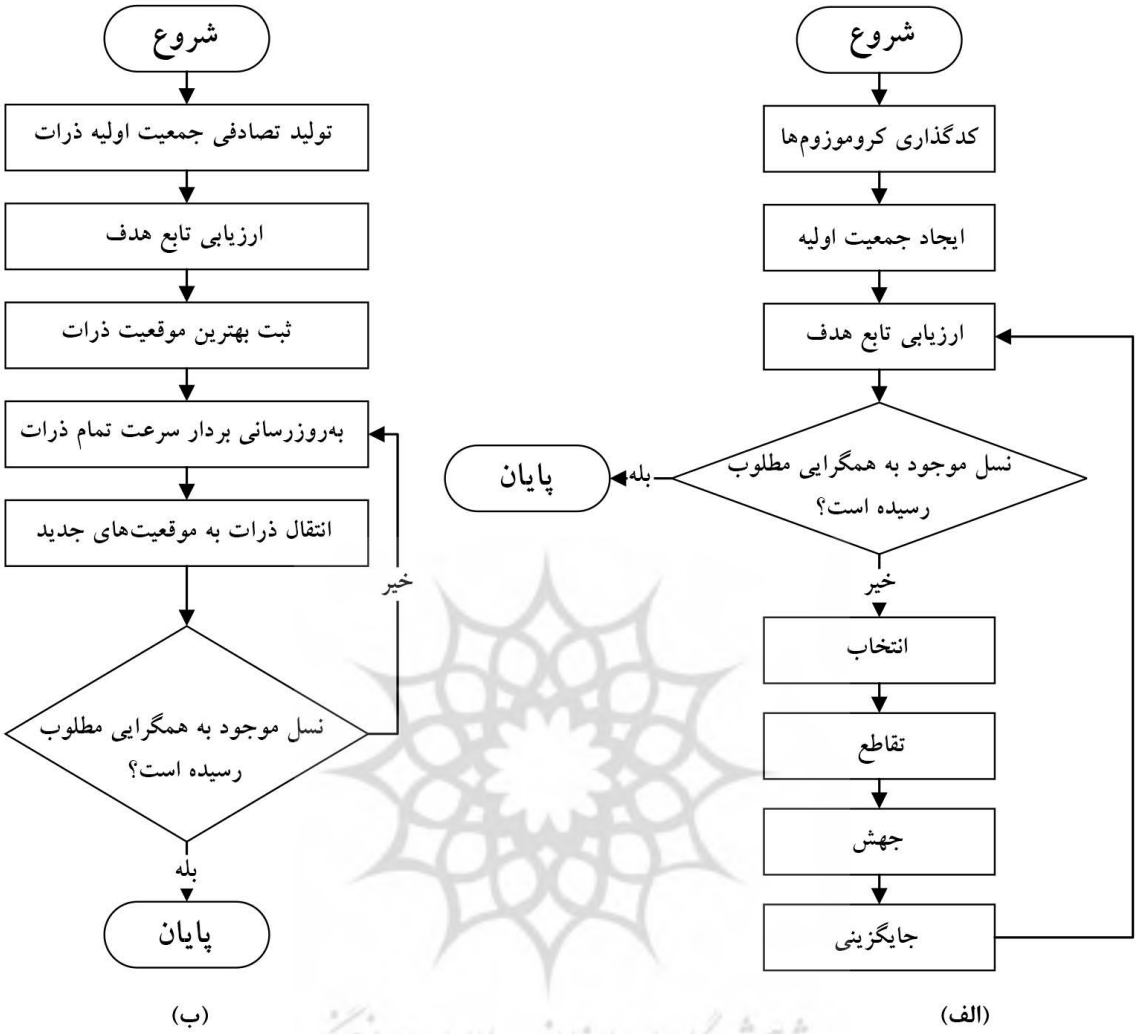
$$\min T = \min\left(\sum_{v=1}^{V} t_v\right) = \min\left(\sum_{v=1}^{V} \left[t_{D(m,1)}^{v} + \sum_{i=1}^{N-1} t_{D(i,i+1)}^{v}\right]\right)$$

$$i = 1,2,3,\dots,N$$

v=1,2,3,…,V

رابطه (۵)

1- Particle swarm optimization




**نگاره۱: الف) فلوچارت مراحل پیاده‌سازی الگوریتم ژنتیک** *(Saeidian et al, 2016)* **ب) فلوچارت مراحل پیاده‌سازی الگوریتم ازدحام ذرات** *(پیاده‌کومسوار و همکاران، ۱۳۹۸)*

محدودیت:

$$V = v_0$$

$$IF \ \sum_{v=1}^{V} (t^{v}_{D(m,1)} + \sum_{i=1}^{N-1} t^{v}_{D(i,i+1)}) > 3\text{Hour}$$

$$V = \lfloor T, 3 \rfloor + 1$$

$$elseif$$

$$\text{T is correct answer}$$

$$\text{end}$$

رابطه (٦)

T: زمان کل مسیرها

V: تعداد کل وسایل نقلیه

m: میدان بار

t: زمان

v: وسیله نقلیه vام

N: تعداد فروشگاه‌های "شهرما" اختصاص شده به هر وسیله نقلیه

i: نقطه iام

D: فاصله

$v_0$: برابر با ۱

تابع هدف بیان شده سبب یافتن بهترین مسیر توزیع به وسیله کمینه‌سازی زمان توزیع مواد غذایی فاسدشدنی میان فروشگاه‌های "شهرما" می‌شود. یعنی تابع تک هدفه با قید زمانی در این پژوهش تعریف شده است.

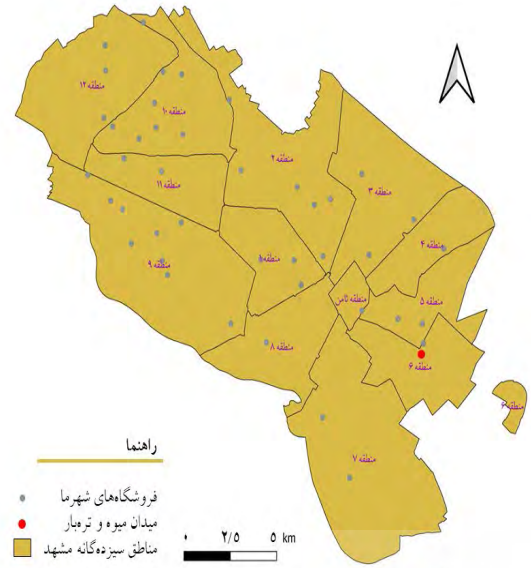
قسمت اول تابع هدف، زمان میان میدان بار و اولین فروشگاه "شهرما" (که به‌صورت اتفاقی تولید شده است) و قسمت دوم تابع هدف، زمان مسیرهای میان فروشگاه‌های اول تا آخر را نشان می‌دهند. محدودیت بیان شده مربوط به عدم تجاوز زمان هر کدام از وسایل نقلیه از سه ساعت است. این محدودیت در مواقعی که مجموع زمان سفر هر کدام از وسایل نقلیه بیش از سه ساعت شود، سبب افزایش تعداد وسایل نقلیه می‌شود.

### ۲-٤- محدوده مطالعاتی

محدوده مطالعاتی این پژوهش توزیع میوه و تره‌بار میان میدان میوه و تره‌بار و فروشگاه‌های "شهرما" در شهر مشهد واقع در استان خراسان رضوی است.

شهر مشهد مرکز استان خراسان رضوی است که در ۵۹ درجه و ۳۵ دقیقه طول و ۳٦ درجه و ۲۰ دقیقه عرض جغرافیایی قرار دارد. مشهد با ۳۵۱ کیلومترمربع مساحت، دومین شهر پهناور ایران پس از تهران است. براساس سرشماری عمومی نفوس و مسکن سال ۱۳۹۵ مشهد با ۳۰۰۱۱۸٤ نفر جمعیت *(اسدی و اکبری، ۱۳۹۹)*، دومین شهر پرجمعیت ایران پس از تهران و نود و پنجمین شهر پرجمعیت دنیا به‌شمار می‌رود. این شهر به واسطه وجود حرم هشتمین امام مذهب شیعه، سالانه پذیرای بیش از ۲۷ میلیون زائر از داخل کشور و دو میلیون زائر از خارج از کشور است.

نگاره (۲) توزیع مکانی فروشگاه‌های "شهرما" در مشهد را نشان می‌دهد.




**نگاره۲: موقعیت میدان میوه و تره‌بار و فروشگاه‌های "شهرما" در شهر مشهد**

### ۳- بحث و یافته‌ها

به‌منظور پیاده‌سازی الگوریتم‌های تکاملی مورد استفاده در این پژوهش از نرم‌افزار Matlab استفاده شده است. همچنین تحلیل شبکه به‌منظور تعیین فاصله بین میدان بار و فروشگاه‌های "شهرما" در نرم‌افزار ArcGIS انجام گرفته است. به‌منظور پیاده‌سازی مطابق مدلی که در ادامه شرح داده می‌شود، فرضیات زیر در نظر گرفته شده است:

الف) با توجه به اینکه تقاضا برای محصولات تره‌بار از ساعات اولیه صبح آغاز می‌شود و همچنین فرآیند توزیع در ساعات مختلف شبانه روز متفاوت است، در پژوهش حاضر فرآیند توزیع بین ٤ بامداد تا ۷ صبح بایستی انجام شود.

ب) حداکثر زمان مطلوبی که محصولات می‌توانند در ماشین حمل باشند تا فاسد نشوند، سه ساعت است.

ج) محصولات تا ساعت ۷ صبح باید در تمام فروشگاه‌ها موجود باشد.

د) ترافیک شهری بین ساعت ٤ تا ۷ صبح به‌صورت همگن است و رانندگان به‌صورت یکسان رانندگی می‌کنند.

ه) در تمام فروشگاه‌ها، یک بسته محصول یکسان توزیع

می‌شود که از نظر تنوع و حجم محصولات یکسان بوده و شامل میوه و تره‌بار است.

### ۳-۱- تحلیل شبکه

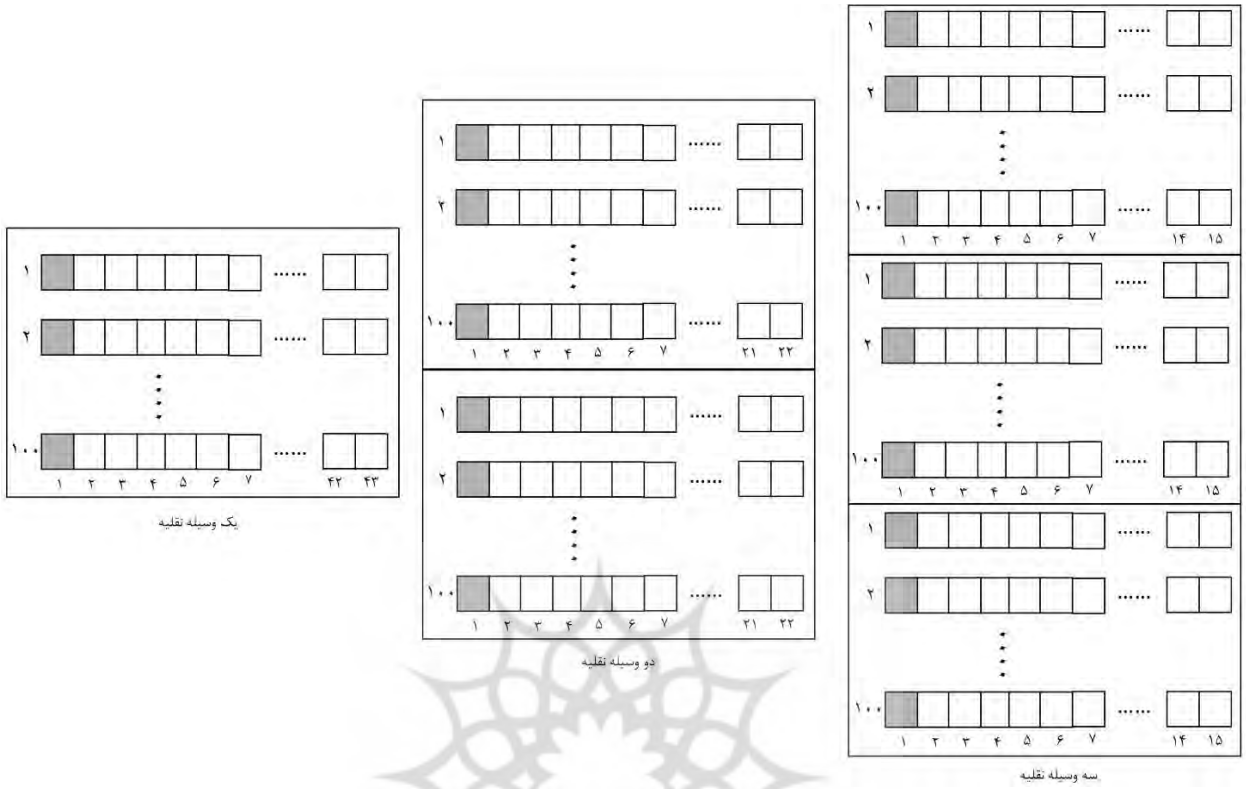
برای پیاده‌سازی الگوریتم‌ها نیاز است که فاصله میان میدان بار تا هر یک از فروشگاه‌های "شهرما" بر روی شبکه جاده‌ها و فاصله میان فروشگاه‌های "شهرما" بر روی شبکه جاده‌ها مشخص باشد. برای این منظور با استفاده از آنالیز شبکه در نرم‌افزار ArcGIS 10.8 این فواصل از روی شبکه جاده‌های شهر مشهد استخراج شده است. هدف ما در این مقاله کم کردن زمان مسیر توزیع است. به همین منظور این فواصل با سرعت ثابت ۶۰ کیلومتر بر ساعت با استفاده از سرعت و فاصله به زمان تبدیل شده و در یک جدول با اندازه ۴۲×۴۳ وارد شدند. به‌دلیل بزرگی ابعاد جدول، نمی‌توان کل جدول را در این بخش نمایش داد. به همین دلیل بخش کوچکی از آن در جدول (۱) نمایش داده شده است.

### ۳-۲- پیاده‌سازی الگوریتم ژنتیک

الگوریتم ژنتیک در این مقاله به شکلی پیاده‌سازی شده است که خود الگوریتم بهترین تعداد وسیله نقلیه را تعیین می‌کند. به‌طوری که توزیع میان همه فروشگاه‌ها در کمتر از سه ساعت انجام شده و در هر فروشگاه نیز پنج دقیقه توقف وجود داشته باشد. این مسئله باعث می‌شود که تعداد ژن در کروموزوم‌ها با توجه به تعداد وسایل نقلیه متفاوت باشد. برای مثال برای یک وسیله نقلیه، کروموزوم‌های ۴۳ ژن که شامل ۴۲ فروشگاه "شهرما" و یک میدان بار است را دارا هستند در حالی که برای دو وسیله نقلیه باید دو کروموزوم با تعداد ژن‌های ۲۲ عددی وجود داشته باشد و به همین ترتیب برای حالت‌های دیگر نیز متفاوت خواهد بود که برنامه نوشته شده، خود با توجه به تعداد وسایل نقلیه این ابعاد و تعداد را تغییر می‌دهد. تابع هدف تعریف شده در این مسئله، زمان مسیر میان ژن‌های موجود در هر کروموزم را محاسبه می‌کند. برای شروع، برنامه با استفاده از یک وسیله نقلیه ۱۰۰ کروموزوم با تعداد ژن ۴۳ تولید می‌کند که اولین ژن از سمت چپ میدان بار است و ۴۲ ژن دیگر شماره فروشگاه‌های "شهرما" هستند که به‌صورت تصادفی تولید شده‌اند. سپس این ۱۰۰ کروموزوم به کمک تابع هدف ارزیابی شده و براساس زمان کم به زیاد مرتب می‌شوند. همگرایی نسل موجود مورد ارزیابی قرار می‌گیرد، اگر کم‌ترین زمان بین ژن‌ها از سه ساعت کمتر باشد الگوریتم متوقف شده و کروموزوم دارای کم‌ترین زمان را به‌عنوان جواب معرفی می‌کند. در غیر این صورت وارد مرحله انتخاب شده و ۱۰ درصد از کروموزوم‌هایی که دارای کمترین زمان هستند را انتخاب می‌کند. پس از آن در مرحله تقاطع بر روی ۶۰ درصد از کروموزوم‌ها عملیات تقاطع انجام می‌شود و در مرحله جهش نیز ۳۰ درصد از کروموزوم‌هایی که بیشترین زمان را داشتند حذف شده و کروموزوم‌های جدید تولید خواهند شد. نکته‌ای که وجود دارد این است که در هر تکرار شباهت کروموزوم‌ها نسبت به یکدیگر بررسی می‌شوند تا کروموزوم‌های مشابه وجود

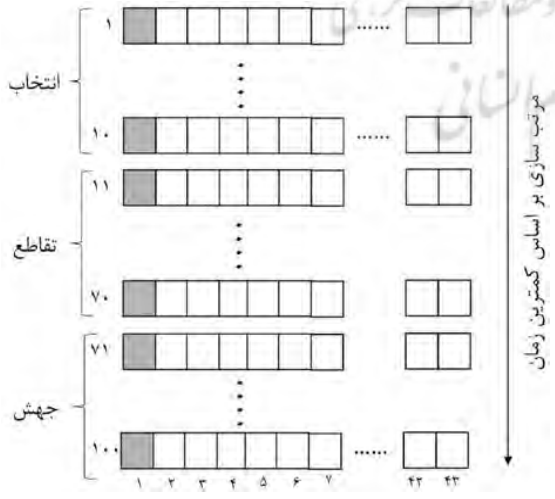
**جدول۱: زمان‌های محاسبه‌شده میان فروشگاه‌ها بر روی شبکه راه‌ها**

| شماره فروشگاه‌های "شهرما" | ۱ | ۲ | ۳ | ٤ | ۵ | میدان بار |
|---|---|---|---|---|---|---|
| ۱ | ۰:۰۰:۰۰ | ۰:۰۲:٤۷ | ۰:۰۲:۱٦ | ۰:۰۵:۲۸ | ۰:۰٤:۲۹ | ۰:۱۰:۲۹ |
| ۲ | ۰:۰۲:٤۷ | ۰:۰۰:۰۰ | ۰:۰۱:۲۰ | ۰:۰٤:۲٤ | ۰:۰٤:۰۷ | ۰:۰۸:۰۰ |
| ۳ | ۰:۰۲:۱٦ | ۰:۰۱:۲۰ | ۰:۰۰:۰۰ | ۰:۰۳:۲۷ | ۰:۰۳:۱۰ | ۰:۰۸:٤۱ |
| ٤ | ۰:۰۵:۲۸ | ۰:۰٤:۲٤ | ۰:۰۳:۲۷ | ۰:۰۰:۰۰ | ۰:۰۱:۱٦ | ۰:۰۹:۰۸ |
| ۵ | ۰:۰٤:۲۹ | ۰:۰٤:۰۷ | ۰:۰۳:۱۰ | ۰:۰۱:۱٦ | ۰:۰۰:۰۰ | ۰:۰۸:۵۷ |



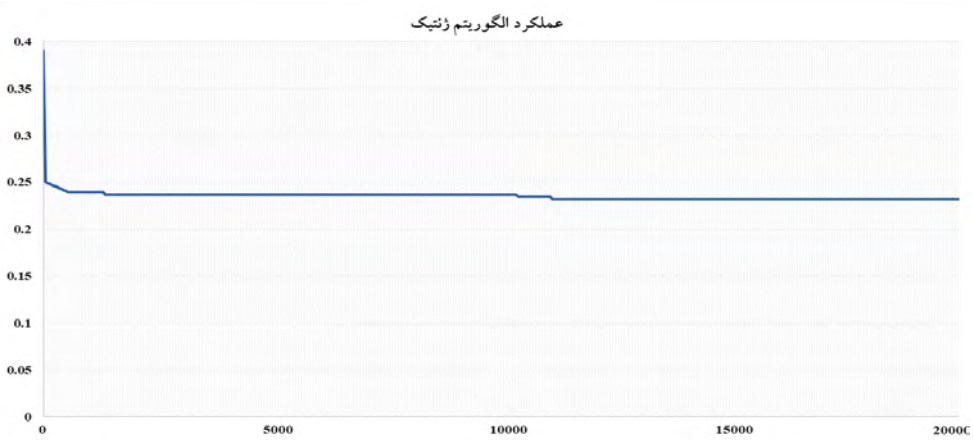

**نگاره۳: ساختار کروموزوم‌ها در الگوریتم ژنتیک برای یک تا سه وسیله نقلیه**

نداشته باشد. این عمل تا جایی ادامه پیدا می‌کند که بعد از ۱۰۰۰۰ تکرار زمان بهتری محاسبه نشود. سپس بهترین زمان به‌دست آمده از این وسیله نقلیه با محدودیت سه ساعت مقایسه می‌شود، اگر زمان کمتر از سه ساعت باشد به‌عنوان جواب نهایی معرفی شده در غیر این صورت یک عدد به تعداد وسایل نقلیه اضافه شده و برنامه دوباره شروع به‌کار می‌کند. این عمل آن قدر ادامه پیدا می‌کند که زمان به‌دست آمده برای هر وسیله نقلیه کمتر از سه ساعت باشد. ساختار کروموزوم‌ها برای یک تا سه وسیله نقلیه در نگاره (۳) نمایش داده شده است. همچنین، نحوه موجه ماندن کروموزوم‌های تولید شده به همراه سهم هریک از عملگرهای انتخاب، تقاطع و جهش در نگاره (٤) به نمایش در آمده است. در نگاره‌های ۳ و ٤، ژن اول از سمت چپ که سایه‌زده شده است، بیانگر میدان‌بار و سایر ژن‌ها نشان‌دهنده فروشگاه‌های "شهرما" است. دراین مقاله، الگوریتم ژنتیک توانست مسئله را با تعداد چهار وسیله نقلیه حل نماید. عملکرد الگوریتم ژنتیک در نگاره(۵) نمایش داده شده است. دراین نگاره محور عمودی مجموع زمان کل مسیرها و محور افقی تعداد تابع هدف ارزیابی شده (NFE)[1] است.




**نگاره٤: نحوه مرتب‌سازی و سهم عملگرهای الگوریتم ژنتیک**

1- Number of Function Evaluate

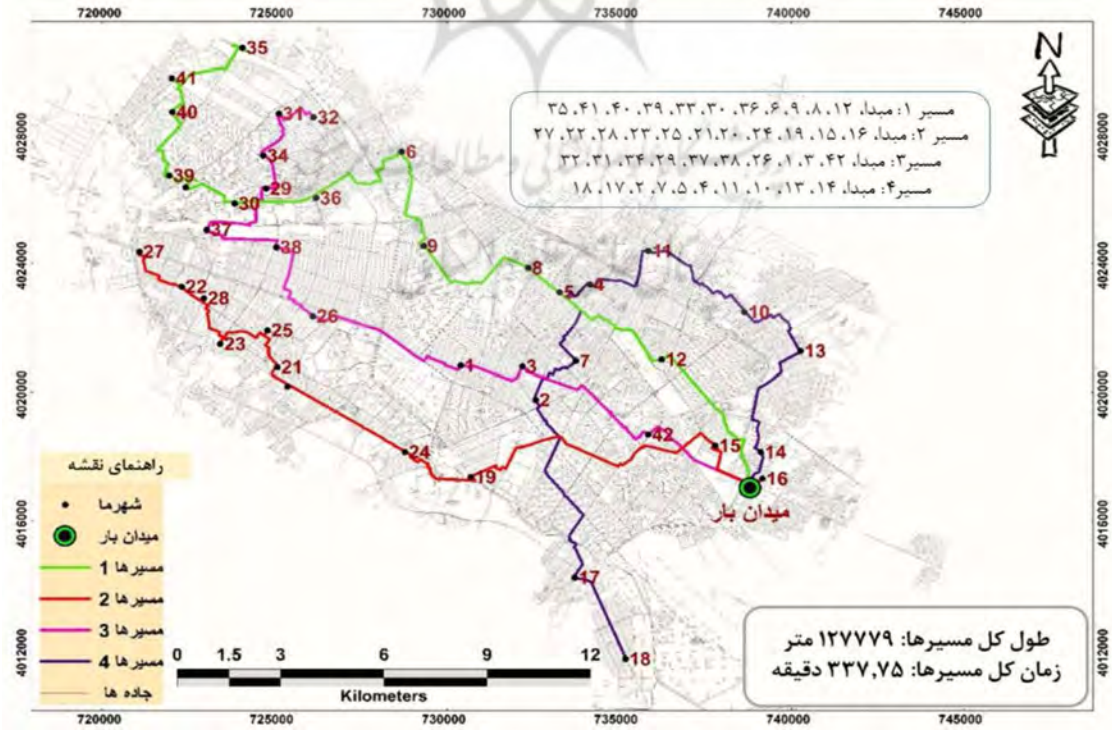



**نگاره۵: عملکرد الگوریتم ژنتیک**

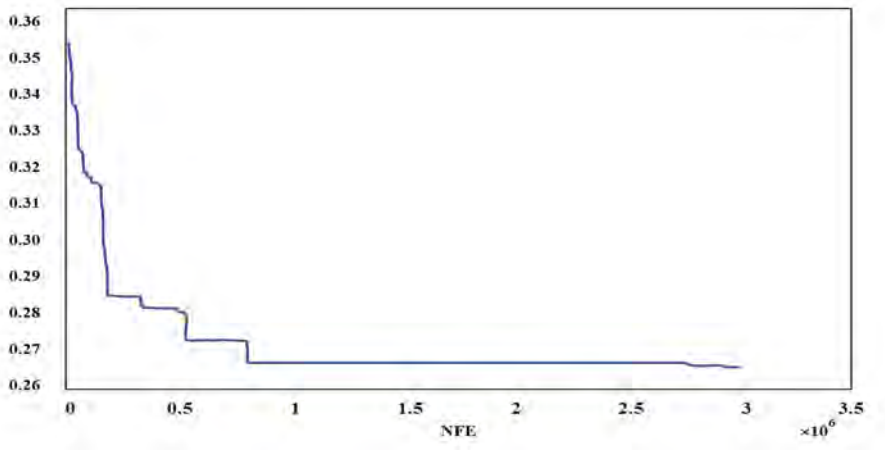
همان‌طور که از عملکرد الگوریتم ژنتیک مشخص است، الگوریتم پس از تعداد ۱۲۰۰۰ بار ارزیابی تابع هدف به بهینه‌ترین راه‌حل دست‌یافته و پس از این تعداد تکرار به راه‌حل بهتری دست نیافته است. همچنین نقشه مسیرهای به‌دست‌آمده از الگوریتم ژنتیک در نگاره (٦) نمایش داده شده است. زمان چهار مسیر به‌دست آمده از الگوریتم ژنتیک به ترتیب و به‌طور تقریبی ۹۲ دقیقه، ۸٤ دقیقه، ۸۰ دقیقه و ۸۲ دقیقه است. مجموع طول کل مسیرها ۱۲۷ کیلومتر و ۷۷۹ متر بوده و مجموع زمان کل مسیرها ۳۳۸ دقیقه است. نقاطی که در هریک از مسیرها طی می‌شود بر روی نگاره (٦) نمایش داده شده است.

### ۳-۳- پیاده‌سازی الگوریتم ازدحام ذرات

در این مقاله پارامترهای الگوریتم ازدحام ذرات شامل $c_1$، $c_2$

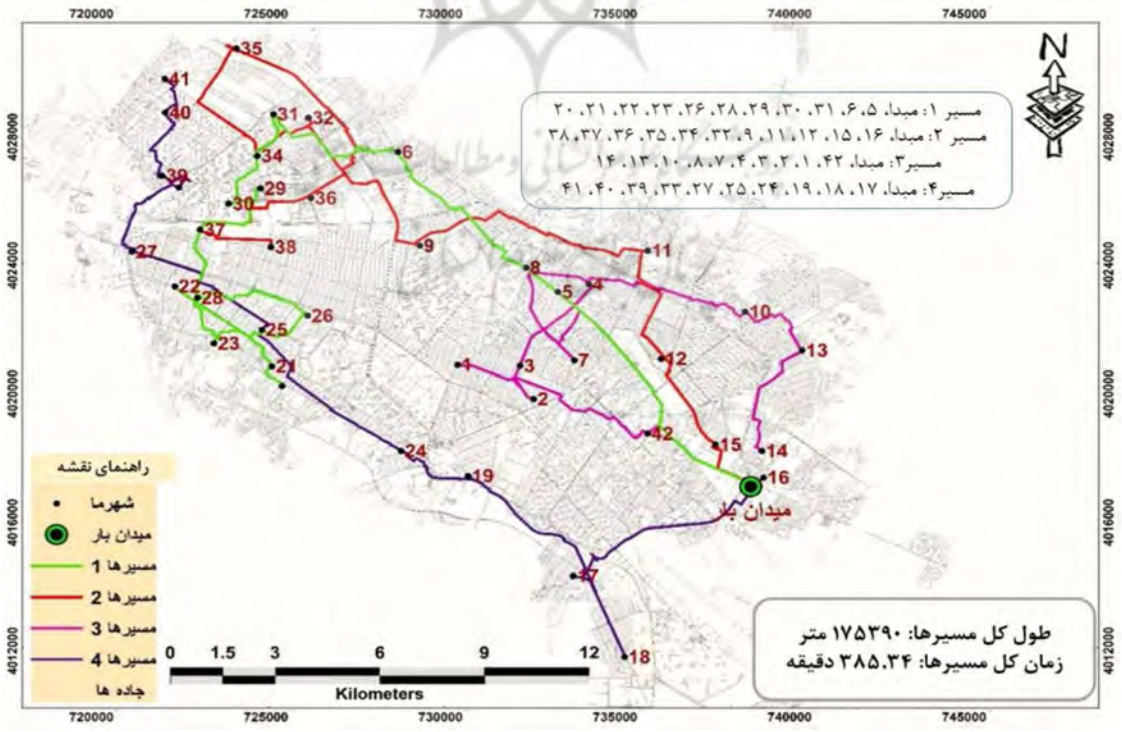



**نگاره٦: مسیرهای به‌دست آمده از الگوریتم ژنتیک**




**نگاره۷: عملکرد الگوریتم ازدحام ذرات**

و w به ترتیب مقادیر ۱/۱ و ۲/۱ و ۰/۰۱ با اندازه جمعیت ۱۰۰۰۰ و تعداد تکرار ۳۰۰ در نظر گرفته شدند. این مقادیر با آزمایش مقادیر مختلف (سعی و خطا) برای حل این مسئله انتخاب شده‌اند و بهترین جواب‌ها را دارا هستند. در این مقاله، الگوریتم ازدحام ذرات توانست مسئله را با تعداد چهار وسیله نقلیه حل نماید. عملکرد الگوریتم ازدحام ذرات در نگاره (۷) نمایش داده شده است. در این نگاره محور عمودی مجموع زمان کل مسیرها و محور افقی تعداد تابع هدف ارزیابی‌شده (NFE) است. الگوریتم ازدحام ذرات توانسته پس از تعداد ۲۹۰۰۰۰۰ ارزیابی تابع هدف به راه‌حل بهینه دست پیدا کند. این تعداد در مقایسه با الگوریتم ژنتیک افزایش بسیار چشمگیری داشته است. همچنین نقشه مسیرهای به‌دست‌آمده از الگوریتم ازدحام ذرات در نگاره (۸) نمایش داده شده است.




**نگاره۸: مسیرهای به‌دست آمده از الگوریتم ازدحام ذرات**

**جدول۲: مقایسه نتایج روش‌های PSO و GA**

| مؤلفه | الگوریتم PSO | الگوریتم GA |
|---|---|---|
| میانگین زمان ۱۰ بار اجرا بر روی یک سیستم تحقیقاتی | ۷ دقیقه و ۳۰ ثانیه | ۹ دقیقه و ٤٥ ثانیه |
| پیچیدگی الگوریتم | کم | زیاد |
| پیچیدگی مسیرهای تعیین‌شده | زیاد | کم |
| تعداد تابع هدف ارزیابی شده | ۳,۰۰۰,۰۰۰ | ۲۲,۰۰۰ |
| مجموع زمان مسیرهای محاسبه شده | ۳۸۵ دقیقه | ۳۳۸ دقیقه |
| تعداد وسیله نقلیه | ٤ | ٤ |
| مجموع طول مسیرهای محاسبه‌شده | ۱۷۵ کیلومتر و ۳۹۰ متر | ۱۲۷ کیلومتر و ۷۷۹ متر |

زمان چهار مسیر به‌دست آمده از الگوریتم ازدحام ذرات به‌ترتیب و به‌طور تقریبی ۱۰۲ دقیقه، ۱۰۳ دقیقه، ۸۹ دقیقه و ۹۱ دقیقه است. مجموع طول کل مسیرها ۱۷۵ کیلومتر و ۳۹۰ متر بوده و مجموع زمان کل مسیرها ۳۸۵ دقیقه است. در ادامه به‌منظور بررسی اجمالی و مقایسه نتایج روش‌های فراابتکاری پیاده‌سازی شده، جدول ۲ تهیه شده که پارامترهای مختلف را برای هر یک از روش‌ها با یکدیگر مقایسه نموده است.

## ٤- نتیجه‌گیری

در این مقاله، مسیرهای توزیع میوه و تره‌بار میان میدان میوه و تره‌بار و فروشگاه‌های "شهرما" در سطح شهر مشهد به کمک الگوریتم‌های ژنتیک و ازدحام ذرات بهینه‌سازی شدند. برای تسریع در امر توزیع میوه و تره‌بار، یک قید زمانی سه‌ساعته در مسئله در نظر گرفته شد. این قید زمانی باعث شد که توزیع میوه و تره‌بار میان تمام فروشگاه‌های "شهرما" در کمتر از سه ساعت انجام شود. هر دو الگوریتم ژنتیک و ازدحام ذرات توانستند مسئله را با چهار وسیله نقلیه حل نمایند. مقایسه نتایج دو الگوریتم ژنتیک و ازدحام ذرات نشان می‌دهد الگوریتم ژنتیک کارایی بالاتری در بهینه‌سازی مسیر توزیع میوه و تره‌بار دارد زیرا مجموع زمان‌های به‌دست آمده برای چهار وسیله نقلیه در الگوریتم ژنتیک نسبت به الگوریتم ازدحام ذرات مجموعاً ٤٧ دقیقه و مجموع طول کل مسیرها در الگوریتم ژنتیک نسبت به الگوریتم ازدحام ذرات مجموعاً ٤٧ کیلومتر و ٦١١ متر کمتر بوده است. همچنین الگوریتم ژنتیک توانست با ۱۲۰۰۰ بار ارزیابی تابع هدف به راه‌حل مطلوب دست پیدا کند که این رقم در الگوریتم ازدحام ذرات ۲۹۰۰۰۰۰ بوده که تفاوت چشمگیری میان زمان رسیدن به راه‌حل بهینه در دو الگوریتم را نشان می‌دهد.

به‌منظور بهبود راه‌حل‌های موجود، پیشنهاد می‌شود در ادامه این کار به بهینه‌سازی مسیرهای توزیع با رویکرد فازی پرداخته شود. همچنین پیشنهاد می‌شود که در پژوهش دیگری عملکرد سایر الگوریتم‌های تکاملی در مسئله بهینه‌سازی مسیرهای توزیع بررسی شود. در صورت در دسترس بودن داده‌های مناسب می‌توان پارامترهای مرتبط با عدم قطعیت را مورد بررسی قرار داد.

## منابع و مآخذ

۱- آقاجان‌زاده، آقاجان‌زاده؛ حمید، ناصر.(۱۳۸۸). یافتن مسیر بهینه حرکت برای اتوبوس‌های درون شهری و بهترین محل برای احداث ایستگاه‌های اتوبوس درون شهری به‌وسیله الگوریتم ژنتیک. دومین کنفرانس بین‌المللی شهر الکترونیک.

۲- احمدی‌تیفکانی، مریم (۱۳۹۷). بهینه‌سازی مسیر ایستگاه‌های حمل و نقل عمومی با استفاده از تئوری مورچگان. شانزدهمین همایش ملی پژوهش‌های نوین در علوم و فناوری.

۳- اسدی، اکبری؛ احمد، ابراهیم (۱۳۹۹). تحلیل فضایی کیفیت زندگی شهروندان در محیط‌های شهری با استفاده از سیستم اطلاعات جغرافیایی(GIS) (مطالعه موردی: منطقه۲ شهر مشهد). (۲۰)۵۸.

٤- اسماعیل‌زاده، کفاش‌چرندابی، حیدری‌مظفر؛ هادی، ندا، مرتضی. (۱۳۹۵). انتخاب مسیر بهینه برای مترو به کمک GIS و روش‌های فراابتکاری (مطالعه موردی: شهرک جدید خاوران تبریز). دومین کنفرانس ملی مهندسی فناوری اطلاعات مکانی.

۵- امین‌طهماسبی، زره‌پوش؛ حمزه ، امیر. (۱۳۹۹). ارائه مدل برنامه‌ریزی ریاضی برای مسئله مسیریابی وسیله نقلیه چندمحصولی با پنجره زمانی و تقاضای فازی (موردمطالعه: شرکت قفلیران). ۲۲(٦٦)، ۵۲-٦۲.. نشریه علمی مدیریت زنجیره تأمین. ۲۲ (٦٦)، ۵۲-٦۲.

٦- پیاده‌کوهسوار، مازندرانی‌زاده، صدرا؛ جواد، حامد، سیدمحمدکاظم. (۱۳۹۸). ارزیابی الگوریتم‌های بهینه‌سازی GA و PSO در بهره‌برداری از سیستم‌های چندمخزنه مطالعه موردی: سدهای حوضه گرگان رود. پژوهش‌های حفاظت آب و خاک (علوم کشاورزی ومنابع طبیعی). (۲)۲٦. ۲۳۹-۲۵۰.

۷- جامی‌الاحمدی، کافی، نصیری‌محلاتی؛ محمد، مجید، مهدی. (۱۳۹۰). بررسی ویژگی‌های جوانه‌زنی بذر گیاه جارو (Kochia scoparia) در واکنش به سطوح مختلف شوری در محیط کنترل شده. پژوهش‌های زراعی ایران, ۲(۲)، ۱۵۱-۱۵۹.

۸- جعفری، محمدرضا. (۱۳۹۹). بهینه‌سازی چندهدفه مسائل مکان‌یابی تسهیلات و مسیریابی باز در طراحی زنجیره تأمین مصالح ساختمانی: مدل ریاضی و الگوریتم‌های فراابتکاری. نشریه علمی مدیریت زنجیره تأمین, ۲۲(٦۹), ۳۷-٦٦.

۹- جهان‌بخش، توحیدی؛ نگین ، حمید. (۱۳۹۹). طراحی رقابتی شبکه زنجیره لجستیک کالای فاسدشدنی با تکیه بر بهینه‌سازی تقاضا و افزایش رضایت‌مندی مشتریان. نشریه علمی مدیریت زنجیره تأمین ۲۲(٦۹), ۲۰-۳٦.

۱۰- حاجی‌زاده، غفاری گیلانده، محمدی؛ محمدجواد، عطا، علیرضا. (۱۳۹٦). تعیین مسیر بهینه‌ی اتوبوس شهری با استفاده از GIS؛ مطالعه موردی: شهر اردبیل. پنجمین کنگره بین المللی عمران، معماری و توسعه شهری.

۱۱- سعیدیان، ب و مسگر، م و قدوسی م.(۱۳۹۳). ارزیابی و مقایسه الگوریتم ژنتیک و الگوریتم زنبور عسل برای مکان یابی و تخصیص مراکز امداد زلزله. نشریه بین‌المللی.

۱۲- سهامی، رمضانی؛ حبیب‌الله، ابوذر. (۱۳۹۷). بهینه‌سازی مسیر حرکت پهپادها برای بیشترین پوشش در تهیه تصاویر. فصلنامه پدافند غیرعامل. ۹(۳). ۱-۱۰.

۱۳- شریفی، حسینی، شیدپور، تختی؛ صادق، سیدفرزاد، حسام، سیده‌نجمه. (۱۳۹۷). تعیین مسیر بهینه کشتی‌های کانتینربر با فرض پنجره‌های زمانی و تقاضای بنادر مقصد با استفاده از الگوریتم‌های شبیه‌سازی تبرید، بهینه‌سازی ازدحام ذرات و رقابت استعماری. ششمین کنفرانس ملی تازه یافته‌ها در مدیریت و مهندسی صنایع با تأکید بر کارآفرینی در صنایع.

۱٤- شهرآیینی، مقدم نانسا، شهرآیینی؛ سمیرا، وحید، سیدمحمد.(۱۳۸٦). حل مسئله مسیریابی وسایل نقلیه با استفاده از الگوریتم ژنتیک. کنفرانس بین‌المللی سواحل، بنادر و سازه‌های دریایی.

۱۵- فیلی، سهیلی‌نیا؛ حمیدرضا، حسین. (۱۳۹۰)، مکان‌یابی

بازارهای روز شهری به روش جایابی چندتسهیلاتی و فرآیند تحلیل سلسله مراتبی AHP به‌منظورمدیریت بهینه حمل و نقل شهری، اولین کنفرانس اقتصاد شهری.
۱۶- کارگری، اسدی؛ مهرداد، مصطفی. (۱۳۹۸). ارائه الگوریتم مسیریابی وسایل نقلیه چندقرارگاهی و چندمحصولی توزیع بهینه فرآورده‌های دارویی با رویکرد کاهش هزینه‌های حمل و نقل. شانزدهمین کنفرانس بین‌المللی مهندسی صنایع.
۱۷- کریمی، ستاک؛ حسین، مصطفی. (۱۳۹۱). بهینه‌سازی استوار مسئله مسیریابی وسایل نقلیه با در نظر گرفتن داده بازه‌ای برای زمان سفر. کنفرانس لجستیک و زنجیره تأمین ۱۳۹۱.
۱۸- کفاش‌چرندابی، آل‌شیخ؛ ندا، علی‌اصغر. (۱۳۹۱). ارائه مدلی ترکیبی در GIS برمبنای روش PROMETHEE و الگوریتم PSO برای تعیین اماکن مناسب احداث بیمارستان. آمایش محیطی.(۵)۱۹. ۹۹-۱۱۹.
۱۹- گرمابکی، حسن‌زاده، صحرائیان، خسروی، دیز، کرانی؛ حبیب‌اله، رضا، رضا، راشد، محمدباقر، احسان. (۱۳۹۶). حل مسئله مسیریابی وسایل نقلیه و مکان‌یابی با متغیرهای ریسک سفر با استفاده از برنامه‌ریزی آرمانی. نشریه علمی مدیریت زنجیره تأمین, ۱۹(۵۶), ۶۷-۷۷.
۲۰- گورکانی، غفارپور، همتی؛ مجید، رضا، حسین. (۱۳۹۸). استفاده از الگوریتم‌های فراابتکاری به‌منظور بهینه‌سازی مسیر راه. پنجمین همایش ملی علوم و مهندسی دفاعی.
۲۱- لله آهی‌زاده، صادق عمل‌نیک؛ بهناز، محسن. (۱۳۹۹). بهینه‌سازی مسئله‌ی مکان‌یابی - مسیریابی زنجیره تأمین چهار سطحی در شرایط اختلال. نشریه علمی مدیریت زنجیره تأمین, ۲۲(۶۶), ۴-۱۹.
۲۲- معصوم‌نژاد، محمدشفیعی‌نژاد، محمدشفیعی‌نژاد، محمدشفیعی‌نژاد؛ مجتبی، علی، مجتبی، امیر. (۱۳۹۷). بهینه‌سازی مسیر یک ربات پرنده با استفاده از الگوریتم PSO. پنجمین کنفرانس بین‌المللی پژوهش‌های کابردی در مهندسی برق مکانیک و مکاترونیک.
۲۳- میرزاآقایی، هادی‌پور، رحمانی؛ مرضیه، مهرداد، محسن(۱۳۹۵). بهینه‌سازی شبکه حمل و نقل درون شهری قم از لحاظ زیست محیطی به کمک الگوریتم ژنتیک و GIS. علوم محیطی. (۴)۱۴. ۹۱-۱۰۴.
۲۴- وحدانی، طاهروردی؛ بهنام، محمدحسین. (۱۳۹۸). ارائه یک مدل برنامه‌ریزی چندهدفه برای مسئله مکان‌یابی- موجودی- مسیریابی در یک شبکه زنجیره تأمین چند سطحی با در نظر گرفتن حداکثر پوشش تقاضا. مطالعات مدیریت صنعتی, ۱۷(۵۲), ۲۳۹-۲۸۶.
25- Aworh, O. C. (2018). From lesser known to super vegetables: the growing profile of African traditional leafy vegetables in promoting food security and wellness. Journal of the Science of Food and Agriculture, 98(10), 3609-3613.
26- Bęczkowska, S. (2019). The method of optimal route selection in road transport of dangerous goods. Transportation Research Procedia, 40, 1252-1259.
27- Bodin, L. D. (1975). A taxonomic structure for vehicle routing and scheduling problems. Computers & Urban Society, 1(1), 11-29.
28- Bodin, L. (1983). Routing and scheduling of vehicles and crews, the state of the art. Comput. Oper. Res., 10(2), 63-211.
29- Borim nezhad, V., rahimibadr, B. (2016). Fruit and Vagatable Markets Positioning in 22 Regions of Tehran Municipality: With the Usage of AHP Approach. Agricultural Economics, 10(2), 147-171. doi: 10.22034/iaes.2016.19776
30- Dantzig, G. B., & Ramser, J. H. (1959). The truck dispatching problem. Management science, 6(1), 80-91.
31- Desrochers, M., Lenstra, J. K., & Savelsbergh, M. W. (1990). A classification scheme for vehicle routing and scheduling problems. European Journal of Operational Research, 46(3), 322-332.
32- Fang, C., Gu, X., Cheng, S., & Wu, D. (2022). Research on long-distance cold chain logistics route optimization considering transport vibration and refrigerant carbon emission. Procedia Computer Science, 214, 1262-1269.

materials based on GIS. Journal of Loss Prevention in the Process Industries, 81, 104954.

33- Goleij, H., & Torabi Poudeh, H., & Mansouri, R., & Sadeghi, M. (2019). Estimation of the water distribution uniformity in sprinkler irrigation by using PSO Algorithm Method. WATER ENGINEERING, 12(40 ), 129-136.

34- Katoch, S., Chauhan, S. S., & Kumar, V. (2021). A review on genetic algorithm: past, present, and future. Multimedia Tools and Applications, 80, 8091-8126.

35- Kavzoglu, T., Sahin, E. K., & Colkesen, I. (2015). Selecting optimal conditioning factors in shallow translational landslide susceptibility mapping using genetic algorithm. Engineering Geology, 192, 101-112.

36- Melkonyan, A., Gruchmann, T., Lohmar, F., Kamath, V., & Spinler, S. (2020). Sustainability assessment of last-mile logistics and distribution strategies: The case of local food networks. International Journal of Production Economics, 228, 107746.

37- Mogale, D. G., Cheikhrouhou, N., & Tiwari, M. K. (2020). Modelling of sustainable food grain supply chain distribution system: a bi-objective approach. International Journal of Production Research, 58(18), 5521-5544.

38- Saeidian, B., Mesgari, M. S., & Ghodousi, M. (2016). Evaluation and comparison of Genetic Algorithm and Bees Algorithm for location–allocation of earthquake relief centers. International Journal of Disaster Risk Reduction, 15, 94-107.

39- Tai, T. S., & Yeung, C. H. (2022). Adaptive strategies for route selection en-route in transportation networks. Chinese Journal of Physics, 77, 712-720.

40- Toth, P., & Vigo, D. (Eds.). (2002). The vehicle routing problem. Society for Industrial and Applied Mathematics.

41- Wang, Y., Roy, N., & Zhang, B. (2023). Multi-objective transportation route optimization for hazardous

**COPYRIGHTS**

©2023 by the authors. Published by National Geographical Organization. This article is an open access article distributed under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution-NoDerivs 3.0 Unported (CC BY-ND 3.0)