

حل مسئله به اشتراک گذاری تاکسی‌های با ظرفیت مختلف با استفاده از الگوریتم ژنتیک ارتقاء یافته با عملگرهای جهش ابتکاری و جست‌وجوی محلی

وحید هاشمی^{۱*}، محمد سعدی مسگری^۲، پویا محمدی کزج^۱

^۱ دانشجوی کارشناسی ارشد سیستم‌های اطلاعات مکانی - دانشکده مهندسی نقشه‌برداری - دانشگاه صنعتی خواجه

نصیرالدین طوسی

{v.hashemi, p_mohammadi}@email.kntu.ac.ir

^۲ دانشیار دانشکده مهندسی نقشه‌برداری - دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی

mesgari@kntu.ac.ir

(تاریخ دریافت بهمن ۱۳۹۸، تاریخ تصویب مرداد ۱۳۹۹)

چکیده

افزایش بی‌رویه تعداد وسایل نقلیه در شهرها منجر به مشکلات متعددی از جمله آلودگی هوا، آلودگی صوتی و مشکلات ترافیکی می‌شود. جهت غلبه بر این مشکلات نیازمند به‌کارگیری روش‌های نوین در بحث مدیریت شهری مانند به‌کارگیری سامانه‌های حمل‌ونقل نوین همچون سیستم اشتراک سواری هستیم. هدف از این مطالعه ایجاد و پیاده‌سازی مدلی مناسب، برای اشتراک سواری با به‌کارگیری خودروهایی با ظرفیت مختلف و با استفاده از الگوریتم ژنتیک ارتقا یافته است تا بتوان از طریق گروه‌بندی مسافرانی که به لحاظ پارامترهای مکانی-زمانی سفر شباهت دارند، صندلی‌های خالی وسایل نقلیه و به تبع آن تعداد وسایل عبوری در سطح شهر را کاهش داد. از طرفی مسیری بهینه برای هر گروه از مسافران برنامه‌ریزی نمود به نحوی که مسافت سفر هر گروه و به تبع میزان معطلی در طول سفر برای هر یک از مسافران و رانندگان نیز کمینه شود. از این رو در این الگوریتم چهار تابع هدف، کمینه‌سازی مسافت پیموده شده مجموع سفرها، مجموع زمان معطلی (انحراف از زمان‌های ایده آل) در مبدأ و مقصد مسافران، تعداد وسایل نقلیه استفاده‌شده و تعداد صندلی‌های خالی در نظر گرفته شده‌اند. در این تحقیق از دو عملگر جهش ابتکاری و دو الگوریتم جست‌وجوی محلی تحت عناوین الگوریتم مبتنی بر ژنتیک و الگوریتم ابتکاری مبتنی بر اولویت زمان سفر مسافران به منظور ارتقا الگوریتم ژنتیک برای این حالت خاص استفاده شده است. سپس الگوریتم ارتقا یافته جهت حل مسئله اشتراک سواری روی یک شبکه فرضی با تعداد ۴۶ گره پیاده‌سازی شده است. در نهایت حالات مختلف الگوریتم و استفاده از عملگرهای توسعه یافته طی سناریوهایی مختلف تست، ارزیابی و مقایسه شدند.

واژگان کلیدی: اشتراک سواری، الگوریتم ژنتیک ارتقا یافته، عملگرهای جهش ابتکاری، الگوریتم‌های جست‌وجوی محلی

* نویسنده رابط

۱- مقدمه

توسعه روزافزون شهرها و گسترش زندگی شهری در قرن حاضر باعث بروز مشکلات جدیدی شده است. یکی از این مشکلات، افزایش عبور و مرور خودروها و ایجاد ترافیک در شهرها است که باعث اتلاف هزینه، زمان و سوخت زیادی می‌گردد؛ غلبه بر این مشکلات نیازمند به‌کارگیری روش‌های علمی و مدیریت منابع موجود است. در بسیاری از کشورها از جمله ایران درصد بالایی از خودروهای عبوری در خیابان‌ها، خودروهایی شخصی و تک‌سرنشین هستند که درصد بالایی از ترافیک و شلوغی موجود را باعث می‌شوند. امروزه مسافران می‌توانند یکی از انواع مختلف روش‌های حمل‌ونقل را برای جابجایی انتخاب نمایند. در این انتخاب، معیارهای متفاوتی مانند زمان سفر، هزینه، انعطاف‌پذیری (امکان تغییر در برنامه‌ریزی) و آسایش در طول سفر (محل سوار و پیاده شدن، امنیت، اختصاصی بودن و غیره) مؤثر هستند. اتوبوس و مترو دو مورد از انواع حمل‌ونقل عمومی هستند که با دریافت هزینه کم، حجم انبوهی از مسافران را جابه‌جا کرده و از مسیر جغرافیایی ثابتی گذشته و از برنامه‌ی زمان‌بندی ثابتی پیروی می‌کنند، اما مسافران از آسایش کافی برخوردار نیستند. نقطه مقابل این روش‌های حمل‌ونقل، تاکسی‌ها و خودروهای کرایه‌ای بوده که با دریافت هزینه بیشتر، از انعطاف‌پذیری، آسایش و در اکثر موارد، سرعت بیشتری برخوردار هستند.

تاکسی‌ها نقش مهمی را روزانه، در جابه‌جایی مسافران ایفا می‌کنند؛ اما از طرفی همین سیستم حمل‌ونقلی نیز زمانی که سعی در جابه‌جایی مسافران به‌صورت انفرادی داشته باشد می‌تواند منجر به ایجاد ترافیک درون‌شهری گردد.

موضوع اشتراک سواری مسافران، به این صورت است که آن دسته از مسافرانی که به لحاظ مبدأ و مقصد و زمان سفر، به یکدیگر شبیه هستند، بتوانند با استفاده از یک وسیله نقلیه و با صرف هزینه کمتر سفر خود را انجام دهند. اشتراک سواری سرویسی است که امکان ایجاد ارتباط بین رانندگان و مسافرانی که برنامه سفر مشابهی دارند را برقرار نموده و باعث می‌شود تا مسافران بتوانند سفر خود را با یکدیگر به اشتراک بگذارند و هزینه‌های سفر را باهم تقسیم نمایند [۱].

مسئله اشتراک سواری به‌طور کلی به دو بخش تقسیم می‌شود: بخش اول گروه‌بندی^۱ به تطبیق آن دسته از مسافران و رانندگانی که به لحاظ بعد مکانی (مبدأ و مقصد سفر) و بعد زمانی (زمان آغاز سفر و زمان موردنظر جهت حضور در مقصد) به یکدیگر شباهت دارند می‌پردازد. بخش دوم آن به نحوه نوبت‌دهی، جهت سوار و پیاده شدن مسافران یک گروه پرداخته و به‌نوعی کار مسیریابی^۲ را انجام می‌دهد [۲].

با توجه به مطالب گفته‌شده می‌توان نتیجه گرفت که به دلیل گستردگی فضای حالت در تطبیق مسافران و سپس مسیریابی سفر آن‌ها، این مسئله در کلاس مسائل ان‌پی‌سخت^۳ دسته‌بندی می‌شود، از طرفی این مسئله را می‌توان حالت خاصی از مسائل مسیریابی خودرو با در نظر گرفتن پنجره زمانی^۴ دانست [۳]. در حل این‌گونه مسائل راه‌حل‌ها و الگوریتم‌های ساده و سنتی نمی‌توانند به‌طور مطلوبی پاسخ‌گو باشند، می‌بایست از روش‌ها و الگوریتم‌های بهینه‌سازی به‌منظور رسیدن به جواب بهینه کلی استفاده نمود. دسته‌ای از راه‌کارها و الگوریتم‌های بهینه‌سازی، الگوریتم‌های فرا ابتکاری هستند که اساساً ماهیتی مناسب برای حل این‌چنین مسائلی را دارند. الگوریتم ژنتیک نمونه‌ای از این الگوریتم‌ها است، ماهیت این الگوریتم به نحوی است که به قیود ذاتی مسئله ازجمله: خطی بودن، پیوسته بودن فضای مسئله و چندبعدی بودن آن وابسته نیست و می‌تواند با استفاده از یکسری عملگرها (ترکیب و جهش) روی کروموزومی که بر اساس فضای مسئله، مدل می‌شود، به جواب موردنظر برای آن مسئله خاص دست یابد. این عامل باعث می‌شود تا این الگوریتم برای مسائل بهینه‌سازی با مقیاس بزرگ کارآمد باشد [۴]. از این‌رو در این مقاله از این الگوریتم به‌منظور حل مسئله اشتراک سواری استفاده شده است.

مسئله اشتراک سواری را می‌توان به چهار دسته کلی تقسیم‌بندی نمود [۱] که عبارت‌اند از:

ایستا، در این حالت ابتدا کاربر درخواست سفر خود را که شامل مبدأ، مقصد، زمان شروع سفر از مبدأ و زمان موردنظر جهت حضور در مقصد و اطلاعات موردنیاز دیگر است را در تاریخی به‌خصوص در سامانه ثبت کرده و

^۱ Grouping

^۲ Routing

^۳ Non-deterministic polynomial-time hard

^۴ Vehicle routing problem with time window

ساختار مقاله پیش رو به این شرح است: در بخش دوم به مروری بر تحقیقات پیشین و بیان ضرورت ایجاد مدل پیاده سازی شده در این مقاله، در بخش سوم به بیان مدل بهینه اشتراک سواری، در بخش چهارم به مراحل طراحی و مدل سازی مسئله با الگوریتم ژنتیک، در بخش پنجم به پیاده سازی و ارزیابی مدل و نهایتاً در بخش ششم به بحث و نتیجه گیری نهایی پرداخته شده است.

۲- مروری بر تحقیقات پیشین

ویر و هرباوی مسئله برنامه ریزی چندهدفه مسیر در اشتراک سواری پویا را به عنوان یک مسئله ان پی سخت در نظر گرفتند و از محاسبات تکاملی که جایگاه مناسبی در حل مسائل بهینه سازی چندهدفه پیدا کرده اند، برای حل مسئله استفاده کردند. ایشان در تحقیق خود با در نظر گرفتن کمینه سازی مسافت کل سفر، زمان سفر راننده، زمان سفر مسافران و نیز بیشینه سازی سرویس دهی به مسافران به عنوان توابع هدف به حل مسئله با استفاده از الگوریتم کلونی مورچگان و الگوریتم ژنتیک پرداختند. در نهایت خروجی دو الگوریتم را با استفاده از شاخص های مختلف مقایسه کرده و به این نتیجه رسیدند که الگوریتم ژنتیک عملکرد بهتری دارد و تنها برخی از حالت های کلونی مورچگان، زمانی که با جستجوی محلی همراه شود قابل مقایسه با الگوریتم ژنتیک خواهد بود [۵].

برای حل مسئله اشتراک سواری پویا دو رویکرد بهینه سازی مرکزی و بهینه سازی غیر مرکزی وجود دارد. در بهینه سازی مرکزی یک هدف کلی دنبال و تصمیم گیری در یک مرکز انجام می شود اما در بهینه سازی غیر مرکزی سیستم شامل عامل های مستقل است که اهداف شخصی را دنبال می کنند. نوری نژاد در مطالعه ای به بررسی نقاط ضعف و قوت هر یک از این دو روش و ارائه چارچوبی عامل مبنا که مرتفع کننده نقاط ضعف هر دو رویکرد باشد، پرداخت. همین طور تأثیر رویکردهای مختلف قیمت گذاری در سامانه های اشتراک سواری را بررسی کردند [۱].

وَنگ در مطالعه ای حالت های ایستا و پویا اشتراک سواری با تاکسی^۴ و نیز انواع مختلف از جمله یک به یک، یک به چند و چند به چند (حالت های انتساب یک تا چند

سفری را برای خود رزرو می کند. در این حالت به صورت آنی به درخواست کاربر پاسخ داده نمی شود.

پویا، در این حالت کاربر درخواست سفر خود را که شامل موارد یاد شده است، در سیستم ثبت کرده اما این بار درخواست وی باید از سمت ارائه دهنده سرویس به صورت پویا پاسخ دهی شود، چراکه کاربر برای همان لحظه نیازمند وسیله نقلیه و انجام سفر است.

برنامه ریزی سفر به صورت متمرکز^۱، در این حالت از برنامه ریزی کلیه تصمیم گیری ها مانند اینکه چه مسافرانی با چه رانندگانی منطبق شده و سفر خود را انجام دهند از سوی سرور ارائه دهنده خدمات صورت گرفته و مسافر یا راننده نقشی در این زمینه ندارند.

برنامه ریزی سفر به صورت غیر متمرکز^۲، در این حالت برخلاف حالت متمرکز در تعیین اینکه چه مسافران و رانندگانی با یکدیگر منطبق شوند، تصمیم گیری توسط سرور انجام نمی شود، بلکه راننده و مسافر نیز بر اساس معیارهایی مانند هزینه پیشنهادی، میزان تمایل سفر با جنس مخالف، میزان معطلی قابل قبول برای کاربر و ... دارای حق انتخاب هستند که بر اساس همین معیارها سیستم مواردی را به کاربر پیشنهاد داده و نهایتاً کاربر می تواند موردی را انتخاب کرده و سفر خود را انجام دهند.

در این مقاله راهکار پیاده سازی شده جهت حل مسئله بر مبنای حالت ایستا و برنامه ریزی متمرکز است. از طرفی با توجه به بررسی کارهای گذشته که در بخش دوم آورده شده اند و عدم تجمع توابع هدف کمینه سازی مسافت کل پیموده شده، زمان سپری شده برای مجموع سفرها، تعداد وسایل نقلیه مورد استفاده و نیز تعداد صندلی های خالی، در این مقاله به انجام یک تحقیق کامل جهت ایجاد مدلی با ترکیب این توابع هدف پرداخته شد. ترکیب این توابع هدف با یکدیگر، مدل را پیچیده و به تبع پیاده سازی آن را با چالش هایی مواجه کرد. به منظور غلبه بر این مشکلات و پیاده سازی مدل، در این مقاله از یکسری روش های ابتکاری و الگوریتم های جستجوی محلی استفاده شد تا بتوانند کیفیت جستجو^۳ در الگوریتم ژنتیک را بهبود داده و به جواب بهینه کلی برسانند.

^۱ Centralized planning

^۲ Decentralized planning

^۳ Exploitation

^۴ Taxi carpooling

مسافر و راننده با یکدیگر) را عنوان نمود و روش انتخاب مسیر را بر اساس مدلی بهینه توسعه داد [۶].

رایل و همکاران در یک بررسی جامع به مطالعه کارکرد سامانه‌های اشتراک سواری در سانفرانسیسکو مانند Uber و Lyft و تأثیر استفاده از این سرویس‌ها بر میزان استفاده از سامانه‌های حمل‌ونقل عمومی و حجم سفرها پرداختند. همچنین سرویس‌های اشتراک سواری و سرویس‌های قدیمی‌تر تاکسی را از نظر پارامترهایی مانند زمان سفر، میزان آسایش و دیگر پارامترها مقایسه کردند. همین‌طور ایشان بررسی کردند که چه کسانی و به چه دلایلی از سرویس‌های اشتراک سواری استفاده می‌کنند [۷].

لین و همکاران در تحقیقی از الگوریتم تبرید شبیه‌سازی شده^۱ جهت بهینه‌سازی مسئله اشتراک سواری استفاده کردند. در آن تحقیق کمینه کردن هزینه‌های عملیاتی (مانند هزینه‌های مربوط به حمل‌ونقل، هزینه‌های نگهداری و تعمیر خودرو و ...) و بیشینه شدن سطح رضایت کاربران بر اساس زمان سفرشان به عنوان توابع هدف در نظر گرفته شده است. همچنین برای تعیین کمیت توابع هدف، پارامترهای مسافت پیموده شده در سفر، زمان انتظار مشتریان و زمان ذخیره شده آن‌ها به دلیل استفاده از سامانه‌های اشتراک سواری، به کاررفته است. نتایج تحقیق مذکور حاکی از مناسب بودن الگوریتم تبرید شبیه‌سازی شده در این مسئله بود. همین‌طور استفاده از سامانه‌های اشتراک سواری منجر به کاهش ۳۹ درصدی میزان کل مسافت پیموده شده گردید [۳].

کوئینگ یه و همکاران در سال ۲۰۱۵ روی مسئله بهینه‌سازی مسیر اشتراک سواری تاکسی‌ها به صورت چندهدفه و با استفاده از الگوریتم ژنتیک چندهدفه، کارکردند. توابع هدف مسئله شامل کمینه کردن کرایه کلی مسافران در حالت اشتراک سواری، زمان سفر و هزینه سوخت تاکسی‌ها به همراه قیود درآمد رانندگان و هزینه مسافران بود. نتایج حاصل نشان داد که مسیرهای بهینه با اعمال این الگوریتم ضمن افزایش درآمد رانندگان، هزینه مسافران را نیز کاهش می‌دهد [۸].

ژانگ و همکاران در تحقیق خود در سال ۲۰۱۹ به منظور طراحی مدلی بهینه جهت تعیین نرخ کرایه تاکسی‌ها در مسئله اشتراک سواری با تاکسی از یک مدل

بهینه‌سازی چندهدفه مبتنی بر الگوریتم ژنتیک استفاده کردند. در آن مدل نرخ کرایه برای آن دسته از مسافرانی که صرفاً سفر خود را با دیگران به اشتراک گذاشته‌اند و تغییری در مسافت سفر آن‌ها نسبت به حالت سفر تکی ایجاد نمی‌شد، به نحوی حساب می‌شد که تضمین‌کننده کاهش نرخ کرایه برای آن‌ها باشد. همچنین آن دسته از مسافرانی که در سفر اشتراکی شرکت کرده‌اند و مسافت سفر آن‌ها نسبت به حالت سفر تکی و به تبع زمان سفر آن‌ها افزایش پیدا کرده است، نرخ کرایه کمتری نسبت به مسافرین دسته اول پرداخت کنند [۹].

در مسئله بهینه‌سازی اشتراک سواری با تاکسی چندهدفه که در سال ۲۰۱۹ توسط زک و همکاران صورت گرفت، مدل ریاضی شامل دو بخش مسیریابی و تطابق شرکت‌کنندگان در اشتراک سواری (رانندگان و مسافران) پیاده‌سازی گردید. این مدل شامل دو الگوریتم ژنتیک چندهدفه و جست‌وجوی پرتو نور^۲ بود که به منظور آنالیز جواب تولیدشده از الگوریتم ژنتیک و بهبود آن به کاررفته است. در این مسئله جنبه‌های مختلف اقتصادی و اجتماعی در حل مسئله در نظر گرفته شده‌اند [۱۰].

ژاو و همکاران مدل حمل‌ونقل شبکه‌ای را جهت محاسبه کوتاه‌ترین مسیر در مسئله اشتراک سواری با تاکسی ارائه کردند و نیز در این تحقیق به آنالیز معیارهای مختلف مسیر و تأثیر آن در محاسبه کوتاه‌ترین مسیر پرداختند [۱۱].

مدل بهینه‌سازی تک هدفه در بسیاری از تحقیق‌های مربوط به اشتراک سواری به کار گرفته شده است. حتی در حالت چندهدفه بودن مسئله نیز این اهداف تحت یک رابطه خطی وزنی به یک رابطه تک هدف تبدیل می‌شوند. به طور مثال در تحقیقی در سال ۲۰۱۳، پن درزمینه^۳ اشتراک سواری و باهدف کمینه کردن فاصله، زمان و هزینه سفر، با تعریف یکسری ضرایب برای هر یک از اهداف نام‌برده، مسئله چندهدفه را به یک مسئله تک هدف تبدیل نمود [۱۲].

در تحقیقی دیگر که در سال ۲۰۱۸ توسط ماو و همکاران انجام شد، مدلی بر اساس الگوریتم ژنتیک چندهدفه و نیز الگوریتم ژنتیک تک هدف، در یک شبکه راه فرضی باهدف کمینه کردن مسافت کل پیموده شده

۲ Light Beam Search

۱ Simulates annealing

در سال ۲۰۱۹، چن و همکاران راهکاری را جهت حل مسئله اشتراک سواری برای وسایل نقلیه با ظرفیت بالا مانند مینی‌بوس و اتوبوس به کمک الگوریتم کلونی مورچگان پرداختند. نتایج حاصل نشان از کارایی روش در حل این مسئله خاص را داشت [۱۷].

در سال ۲۰۲۰، ماو و همکاران راهکاری جهت حل مسئله اشتراک سواری مدل بهینه‌سازی غیرخطی مبتنی بر الگوریتم ژنتیک را ارائه نمودند. ایشان در تحقیق خود به اولویت‌های اجتماعی کاربران و افزایش رضایت کاربران به لحاظ بحث‌های مالی و زمانی و نیز ارضای اولویت‌های محیطی مانند کاهش آلودگی هوا پرداختند [۱۸].

در تحقیق پیش رو در کنار دو تابع هدف مرسوم کمینه‌سازی مسافت کل پیموده شده و مجموع زمان معطلی مسافران از تابع هدف دیگری که به بهینه کردن تعداد وسایل نقلیه مورد استفاده برای سرویس‌دهی به مجموع درخواست‌ها کمک کند استفاده شده است، چراکه هدف کلی اشتراک سواری تطبیق و گروه‌بندی مسافران با یکدیگر به منظور کاهش وسایل نقلیه عبوری و کمک به کاهش ترافیک است. از طرفی دیگر در سامانه‌های حمل‌ونقل تاکسیرانی، سرویس‌دهی به مسافران تنها با یک نوع وسیله نقلیه انجام نمی‌شود، بلکه از وسایل نقلیه مختلف با ظرفیت‌های مختلف استفاده می‌شود، از این رو در مدل مورد نظر نیز از ون و تاکسی استفاده شده است.

با در نظر گرفتن دو نوع وسیله نقلیه و در طی روند تکمیل و پیاده‌سازی مدل، این نتیجه حاصل شد که می‌بایست در کنار سه تابع هدف ذکر شده، تابع هدفی دیگر که بتواند تعداد صندلی‌های خالی در ون را کمینه کند در نظر گرفته شود. با وجود اینکه تابع هدف کمینه‌سازی تعداد وسایل نقلیه، به نوعی سبب کاهش تعداد صندلی‌های خالی می‌شود؛ اما در حالتی که از ون جهت سرویس‌دهی به مسافران استفاده شود، کمینه کردن تابع هدف تعداد وسایل نقلیه الزاماً در کاهش تعداد صندلی‌های خالی ون مؤثر نخواهد بود. به عبارت دیگر ممکن است نتیجه کار الگوریتم این‌گونه باشد که با استفاده هر چه بیشتر از ون به جای تاکسی تعداد خودروها را کمینه کند ولی تعداد صندلی‌های خالی زیادی را برای ون موجب شود. هدف از این تابع، بهینه کردن حالت استفاده از ون است. بدین معنا که از ون تنها به شکلی استفاده شود که علاوه بر تضمین سرویس‌دهی به موقع به

سفرها و زمان سفر مسافران تحت قیودی چون کمتر شدن هزینه پرداختی مسافر در حالت استفاده از اشتراک سواری نسبت به حالت سفر تکی، افزایش درآمد رانندگان در حالت اشتراک سواری نسبت به حالت سفر تکی، رضایت‌مندی مسافران بر اساس زمان سفرشان در حالت اشتراکی و نیز مسافت اضافی ایجاد شده در حالت اشتراکی که می‌بایست مجموع آن از مجموع طول سفرهای تکی کمتر باشد، پیاده‌سازی شد. به ادعای نویسندگان مقاله نتایج حاصل نشان از کارایی روش در رسیدن به مسیر بهینه و نیز افزایش درآمد رانندگان در عین کاهش هزینه سفر برای مسافران را داشت. در این تحقیق نیز از حالتی مشابه استفاده شده است [۴].

ژانگ و همکاران در سال ۲۰۲۰ به بررسی و مطالعه مسئله اشتراک سواری با تاکسی و ارائه مدلی جهت بهینه‌سازی مسیر سفر اشتراکی و نیز ارائه مدل قیمت دهی پرداختند. ایشان مدل پیشنهادی خود را بر مبنای الگوریتم ژنتیک با در نظر گرفتن توابع هدف بیشینه‌سازی نرخ سرویس‌دهی به مسافران، کمینه‌سازی مسافت کل سفر و تقسیم بهینه هزینه‌های سفر بین راننده و مسافران به همراه قید ظرفیت خودرو و افزایش درآمد رانندگان ضمن کاهش هزینه مسافران پرداختند [۱۳].

رنگ ریز و همکاران در سال ۲۰۱۹ به ارائه مدلی مبتنی بر الگوریتم ژنتیک و باهدف کاهش مسافت کل سفر و نیز کاهش تعداد تاکسی‌های مورد استفاده پرداخت. ایشان شبکه راه مناطق ۶، ۷، ۱۱ و ۱۲ شهر تهران را در کار خود استفاده نمودند [۱۴].

هانگ و همکاران در سال ۲۰۱۸ راهکاری جهت گروه‌بندی مسافران با توجه به شباهت مسیر سفرها و با استفاده از الگوریتم ارتقا یافته کلونی مورچه را پیاده نمودند. ایشان کار خود را با سه روش متداول الگوریتم کلونی مورچگان، الگوریتم ژنتیک و الگوریتم تبرید شبیه‌سازی شده مقایسه نمودند. در این مدل کمینه‌سازی مسافت سفر و افزایش میزان سرویس‌دهی به درخواست‌ها به عنوان توابع هدف در نظر گرفته شد [۱۵].

در سال ۲۰۱۹، شن و همکاران به ارائه راهکاری مبتنی بر خوشه‌بندی درخواست‌ها و ارائه یک الگوریتم مسیریابی به نام Roo، به حل مسئله اشتراک سواری در شبکه راه شهر نیویورک و بیژینگ چین در مقیاس بزرگ پرداختند [۱۶].

درخواست‌ها، تعداد بیشتری درخواست را سرویس‌دهی کند و کمترین صندلی خالی را داشته باشد. نهایتاً در این مدل چهار تابع هدف کمینه‌سازی مسافت کل پیموده شده، مجموع زمان معطلی مسافران، تعداد وسایل نقلیه مورد استفاده و نیز تعداد صندلی‌های خالی در ون در نظر گرفته شدند.

ترکیب این توابع هدف در کنار یکدیگر مشکلاتی را در پیاده‌سازی مدل به وجود آورد که برای حل و غلبه بر این مشکلات یکسری ایده‌های ابتکاری بر روی عملگرهای جستجو در الگوریتم ژنتیک اعمال گردید. همچنین به منظور افزایش بهره‌برداری^۱، روی خروجی حاصل از عملگر جستجو^۲، از دو نوع الگوریتم جستجوی محلی^۳ مبتنی بر الگوریتم ژنتیک و یک الگوریتم ابتکاری مبتنی بر اولویت زمانی سفر مسافران استفاده شد. لازم به ذکر است کروموزوم پیاده‌سازی شده در این مدل که در بخش‌های بعد نحوه ساخت آن تشریح خواهد شد، روشی مرسوم در ساخت کروموزوم در مسائل اشتراک سواری و به‌طور کلی در حوزه مسائل مسیریابی خودروها^۴ است [۵]، [۱۹] و [۲۰].

۳- مدل بهینه‌سازی اشتراک سواری

در این مدل یکسری فرضیات در نظر گرفته شده‌اند که در ادامه به بیان آن‌ها پرداخته شده است.

۳-۱- فرض‌های مسئله

در این مدل از دو نوع وسیله نقلیه ون و تاکسی استفاده شده است.

۱. هر درخواست سفر می‌تواند شامل ۱ تا چند مسافر باشد.

۲. مسافران در طول سفر خود تنها با یک وسیله نقلیه سفر را انجام می‌دهند و در طول سفر وسیله نقلیه‌شان عوض نمی‌شود.

۳. سرعت وسایل نقلیه ثابت و برابر با یک سرعت متوسط واحد در نظر گرفته شده است.

۴. راننده وسیله نقلیه کوتاه‌ترین مسیر بین ایستگاه‌های مبدأ و مقصد را طی می‌کند. کوتاه‌ترین مسیر بین ایستگاه‌ها بر اساس الگوریتم فلوید وارشل^۵ محاسبه شده است.

۵. از قبل از بروز جواب‌هایی که در آن‌ها وسیله نقلیه‌ای خالی باشد، جلوگیری شده است. در مورد ون نیز از حالتی که در آن ونی کمتر از نصف ظرفیت خود (کمتر از ۵ نفر) مسافر داشته باشد، جلوگیری شده است.

۶. مطابق با مقاله [۱۳]، در این مدل فاصله بین وسیله نقلیه تا مبدأ اولین مسافر هر گروه ناچیز در نظر گرفته شده است.

۳-۲- توابع هدف مسئله

در ادامه توابع هدف مسئله و نحوه محاسبه میزان هزینه‌ای که هر کدام به مدل اعمال می‌کنند بیان شده است.

۳-۲-۱- کمینه کردن زمان معطلی مسافران

در مدل پیاده‌سازی شده این مقاله، برای هر مسافر یک‌زمان مورد انتظار برای آغاز سفر از مبدأ (زمان سوار شدن در وسیله نقلیه) و نیز یک‌زمان مورد انتظار برای رسیدن به مقصد (زمان پیاده شدن از وسیله نقلیه) به همراه یک پنجره زمانی قابل‌پذیرش برای هر مسافر جهت سوار و پیاده شدن که توسط خود او اعلام می‌شود، ثبت گردیده است. پنجره زمانی در این مدل، به‌صورت یک قید در نظر گرفته شده است که نحوه تأثیرگذاری آن در جواب مسئله در ادامه توضیح داده خواهد شد؛ اما در ادامه ابتدا نحوه محاسبه میزان هزینه زمانی^۶ که برای هر درخواست به سیستم وارد می‌شود، آورده شده است. نحوه محاسبه به این صورت است که ابتدا بر اساس رابطه خطی ۱ و با داشتن سرعت متوسط هر وسیله نقلیه، میزان جابه‌جایی طی شده و زمان حرکت از مرحله قبلی (گره قبلی در شبکه راه فرضی)، زمان رسیدن به گره جاری (مبدأ یا مقصد مسافر مورد نظر) به دست می‌آید.

$$\Delta x = v * \Delta t \quad (1)$$

^۵ Floyd warshall
^۶ Time cost value

^۱ Exploitation
^۲ Exploration
^۳ Local search
^۴ Vehicle routing problem

به عنوان میزان هزینه فاصله طی شده^۱ در مدل در نظر گرفته می شود.

$$\sum_{k \in V} \sum_{i \in N} \sum_{j \in N} d_{ij} x_{ij}^k \quad (4)$$

که در آن d_{ij} : فاصله بین دو گره i و j برحسب km، x_{ij}^k : اگر وسیله نقلیه k از یال (i, j) عبور کرده باشد برابر با ۱ در غیر این صورت برابر با صفر خواهد بود، V : مجموعه وسایل نقلیه در نظر گرفته شده در مدل و N : مجموعه گره های شبکه راه است.

۳-۲-۳- کمینه کردن تعداد وسایل نقلیه استفاده شده

در این تابع هدف، تنها تعداد وسایل نقلیه به کاررفته شمارش شده و عدد به دست آمده به عنوان هزینه این تابع هدف در مدل در نظر گرفته می شود. هدف از استفاده از این تابع هدف در مدل این است که تا حد امکان وسایل نقلیه کمتری استفاده شود تا به این ترتیب با کم شدن تعداد وسایل نقلیه از حجم ترافیک و آلودگی هوا به ویژه در ساعات شلوغی کاسته شود.

۳-۲-۴- کمینه کردن تعداد صندلی های خالی در ون

کمینه سازی تابع هدف تعداد وسایل نقلیه استفاده شده، به نوعی سبب کاهش تعداد صندلی های خالی می شود؛ اما در حالتی که از وسیله نقلیه ون جهت سرویس دهی به مسافران استفاده شود، کمینه کردن تابع هدف تعداد وسایل نقلیه الزاماً در کاهش تعداد صندلی های خالی ون مؤثر نخواهد بود. به عبارت دیگر ممکن است نتیجه کار الگوریتم این گونه باشد که با استفاده هر چه بیشتر از ون به جای تاکسی تعداد خودروها را کمینه کند ولی تعداد صندلی های خالی زیادی را برای ون موجب شود. نحوه محاسبه هزینه این تابع هدف به این صورت است که تعداد صندلی های خالی ون با توجه به درخواست هایی که به آن منتسب شده اند شمارش شده و به ازای هر صندلی خالی مقدار هزینه ای به مدل اضافه می شود. به این ترتیب با اضافه شدن این تابع هدف الگوریتم سعی دارد تا حد ممکن از ون در حالتی استفاده کند که مسافران بیشتری را سرویس دهی نماید.

که در آن Δx : مسافت پیموده شده برحسب km، v : سرعت متوسط وسایل نقلیه برحسب km/h و Δt : زمان سپری شده برحسب h است.

مجموع اختلاف زمانی ایجاد شده در سوار و پیاده شدن (عدم رعایت زمان)، برای یک درخواست از رابطه ۲ محاسبه می شود.

$$\Delta t_i = |t_{p_i}^r - t_{p_i}^e| + |t_{d_i}^r - t_{d_i}^e| \quad (2)$$

که در آن Δt_i : اختلاف زمانی ایجاد شده در درخواست شماره i ، $t_{d_i}^e$ و $t_{d_i}^r$ به ترتیب زمان مورد انتظار و زمان واقعی رسیدن در مقصد درخواست i و $t_{p_i}^e$ و $t_{p_i}^r$ به ترتیب زمان مورد انتظار و زمان واقعی شروع شدن سفر برای درخواست i است.

مجموع این اختلاف زمان ها برای تمامی درخواست ها با توجه به رابطه ۳ به دست می آید.

$$\Delta T = \sum_{i=1}^n \Delta t_i \quad (3)$$

که در آن n برابر با تعداد کل درخواست ها است.

۳-۲-۲- کمینه کردن فاصله طی شده برای مجموع سفرها

منظور از تعریف این تابع که بر اساس رابطه ۴ محاسبه می شود، این است که نحوه دسته بندی مسافران و نوبت دهی به آن ها جهت سوار و پیاده شدن از وسیله نقلیه به گونه ای باشد که مجموع فواصل طی شده در کل سفرها کمینه شود.

به منظور کاهش بار محاسباتی هنگام برآورد فاصله بین دو گره مورد نظر در شبکه راه، ابتدا فاصله میان گره های شبکه راه به کمک الگوریتم فلوید وارshall [۲۱] محاسبه و در ماتریسی به نام ماتریس فواصل ذخیره گردید. به این ترتیب هنگام محاسبه این تابع هدف تنها کافی است فاصله بین دو گره مورد نظر از ماتریس گفته شده فراخوانی شود.

نحوه محاسبه به این صورت است که فاصله بین هر گره تا گره بعدی در مسیر برنامه ریزی شده از ماتریس فواصل استخراج شده و سپس مجموع فاصله طی شده برای کل سفرها از رابطه ۴ به دست می آید. در نهایت این مقدار

^۱ Total travel cost value

۳-۳- قیود در نظر گرفته‌شده در مدل

در مدل پیاده‌سازی شده از دو قید ظرفیت وسایل نقلیه^۱ و پنجره زمانی^۲ استفاده شده است.

عدم رعایت قید ظرفیت خودرو که به آن قید صحت نیز گفته می‌شود، منجر به تولید جوابی ناصحیح و ناممکن می‌گردد. از این‌رو الگوریتم، الزام در رعایت این قید برای تولید جواب در فضای مسئله را دارد. همان‌طور که گفته شد هر درخواست می‌تواند شامل یک یا چند مسافر باشد، حال درخواست موردنظر به یک وسیله نقلیه (تاکسی یا ون) نسبت داده می‌شود، سپس به‌منظور محاسبه میزان نقض شدگی قید ظرفیت خودرو، باید تغییرات ظرفیت خودرو به هنگام سوار و یا پیاده شدن هر درخواست (با توجه به تعداد مسافران آن درخواست) محاسبه گردد. سپس باید چک شود آیا ظرفیت خودرو از میزان حداکثری خود رد شده است یا خیر، میزان تجاوز از ظرفیت حداکثری خودرو برابر با میزان نقض شدگی این قید خواهد بود. اعمال این قید را باید با اضافه و کم شدن هر درخواست متناسب شده به‌وسیله نقلیه موردنظر انجام داد.

قید دوم یا قید پنجره زمانی، برای هر درخواست در مرحله سوار و پیاده شدن دو بازه زمانی مختلف در نظر می‌گیرد. بازه زمانی در مرحله سوارشدن درخواست برابر با [۱۰، ۱۰-] دقیقه‌ای بوده و بدین معنا است که مثلاً اگر مسافری ساعت ۷:۰۰ را برای سوارشدن در وسیله نقلیه، در سیستم رزرو ثبت کرده باشد، وسیله نقلیه اگر از ساعت ۶:۵۰ تا ۷:۱۰ این مسافر را سوار کند، قابل قبول بوده و رضایت مشتری حفظ خواهد شد، اما اگر خارج از این بازه به آن مسافر سرویس‌دهی شود، میزان هزینه بالایی^۳ به مدل اعمال می‌شود تا الگوریتم این جواب را حذف کرده و جواب دیگری را که این قید را نقض نمی‌کند پیشنهاد دهد. به همین ترتیب پنجره زمانی [۱۰، ۱۰-] دقیقه‌ای برای پیاده شدن مسافر از وسیله نقلیه در نظر گرفته شد؛ که تفسیری مشابه آنچه گفته شد دارد.

۴- طراحی و مدل‌سازی مسئله اشتراک

سواری در الگوریتم ژنتیک

همان‌طور که در مقدمه اشاره شد، دسته‌ای از راه‌کارها و الگوریتم‌های بهینه‌سازی جهت حل مسئله اشتراک سواری، الگوریتم‌های فرا ابتکاری هستند که اساساً ماهیتی منطبق بر فضای مسائل این‌چنینی دارند. در مقاله پیش رو از الگوریتم ژنتیک به‌منظور حل مسئله استفاده شده است.

۴-۱- الگوریتم ژنتیک تک هدف

با توجه به مطالب گفته‌شده در بخش مقدمه ماهیت الگوریتم ژنتیک به نحوی است که به قیود ذاتی مسئله ازجمله: خطی بودن، پیوسته بودن فضای مسئله و چندبعدی بودن آن وابسته نیست و می‌توان از طریق اعمال یکسری از عملگرها (ترکیب و جهش) روی کروموزومی که بر اساس فضای مسئله، مدل می‌کند، به جواب موردنظر برای آن مسئله خاص دست‌یافت و نیز رواج استفاده از این الگوریتم در تحقیق‌های پیشین در حوزه مسائل بهینه‌سازی و سادگی مدل‌سازی آن باعث شد تا از الگوریتم ژنتیک در این تحقیق استفاده شود.

ذات مسئله اشتراک سواری چند هدف است. در این خصوص دو راهکار کلی برای حل مسائل بهینه‌سازی چند هدف با الگوریتم ژنتیک وجود دارد که عبارت‌اند از:

۱. ترکیب توابع هدف با یکدیگر در قالب یک رابطه

خطی-وزنی

۲. حل مسئله به‌صورت چند هدف و ارائه جواب

مسئله به‌صورت جبهه‌های جواب

از آنجایی که در این تحقیق تلاش نویسندگان مقاله در ایجاد عملگرهای خلاقانه و ابتکاری برای الگوریتم ژنتیک در حل این مسئله خاص است به‌منظور راحتی در بررسی کارایی این ابزارهای ارائه‌شده و نیز پیچیدگی‌های مربوط به جبهه‌های جواب و مفاهیم پرتو^۴ و غیره در مدل طراحی‌شده از الگوریتم ژنتیک تک هدف یا به عبارتی تجمیع چند تابع هدف در قالب یک رابطه خطی-وزنی استفاده شده است. نویسندگان مقاله در تحقیق‌های آتی خود به حل مسئله به کمک الگوریتم ژنتیک چند هدف

^۱ Capacity constraint

^۲ Time windows constraint

^۳ Max cost

^۴ Pareto fronts

۶، -۵، ۷، ۶، ۵، ۳۶۱، -۴، -۳، -۲، -۱، ۴، ۳، ۲، ۱، ۱۸۳، ۸، -۷، -۸]

در این کروموزوم شماره‌های ۱۸۳ و ۳۶۱ به ترتیب ID تاکسی و ون استفاده شده جهت سرویس‌دهی به درخواست‌های با شناسه، $\{1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8\}$ هستند. اعداد مثبت ۱ تا ۸ نشان‌دهنده نوبت یا ترتیب سوار شدن مسافر مربوط از مبدأ خود در وسیله نقلیه بوده و اعداد منفی ۱ تا ۸ بیانگر نوبت یا ترتیب پیاده شدن آن درخواست‌ها در مقصد خود از وسیله نقلیه هستند.

۴-۱-۲- نحوه ساخت کروموزوم

یک راهکار تشکیل کروموزوم این است که کروموزوم را به صورت لیستی ترتیبی از موقعیت‌های مبدأ و مقصد درخواست‌ها نمایش می‌دهند [۵]، [۱۹] و [۲۰]. اگر تعداد $N = \{1, 2, \dots, n\}$ درخواست ثبت شده باشد و فرض شود که موقعیت مبدأ و مقصد هر یک از درخواست‌ها به ترتیب با $i+$ و $i-$ نمایش داده شوند، نمونه‌ای از دسته‌بندی و مسیریابی درخواست‌ها مطابق شکل ۱ خواهد بود. نحوه ساخت کروموزوم به این صورت است که ابتدا یک وسیله نقلیه ون یا تاکسی تصادفی (بر اساس شناسه) انتخاب و تعدادی درخواست به تصادف به این وسیله نقلیه منتسب می‌شود، سپس ترتیب سوار و پیاده شدن این درخواست‌ها نیز به طور تصادفی ایجاد می‌شود البته با این شرط که سوار شدن هر مسافر قبل از پیاده شدن او اتفاق بیفتد. این روند تکرار شده تا به تمام درخواست‌ها سرویس‌دهی شود و به این ترتیب کروموزوم تشکیل می‌شود. برای سرویس‌دهی به کل درخواست‌ها از چند وسیله نقلیه استفاده می‌شود از این رو طول کروموزوم متفاوت خواهد شد.

۴-۱-۳- جمعیت با اندازه پویا

در الگوریتم ژنتیک ساده پارامتر اندازه جمعیت توسط کاربر در ابتدای برنامه تعیین و تا آخر پردازش ثابت باقی می‌ماند. این پارامتر در تعیین کیفیت نهایی جواب تولیدی توسط الگوریتم نقش کلیدی دارد. به طوری که اگر اندازه آن کم باشد می‌تواند منجر به کندی زیاد و یا عدم رسیدن به جوابی با کیفیت بالا گردد و از طرفی اگر اندازه آن خیلی بزرگ باشد ممکن است هزینه اضافی به لحاظ فضای جست‌وجو و زمان اجرای الگوریتم وارد کند.

خواهند پرداخت. در ادامه به بیان جزئیات بخش‌های مختلف الگوریتم ژنتیک تک هدف به کاررفته در این تحقیق پرداخته شده است.

۴-۱-۱- مدل کردن فضای واقعی مسئله در قالب کروموزوم^۱

در این مقاله از روش ایستا و برنامه‌ریزی مرکزی به منظور مدل‌سازی مسئله استفاده شده است. برای این منظور جدولی از اطلاعات مربوط به درخواست سفر اشتراکی تحت عنوان جدول رزرو سرویس تهیه گردید؛ که شمایی از آن در جدول ۱ آمده است.

همان‌طور که در جدول ۱ پیداست، هر درخواست شامل یک ID یا شناسه منحصر به فرد (شناسه درخواست)، شماره گره مربوط به محل سوار شدن مسافر در شبکه راه (شناسه گره مبدأ)، شماره گره مربوط به محل پیاده شدن درخواست در شبکه راه (شناسه گره مقصد)، زمان موردنظر برای آغاز سفر در مبدأ، زمان موردنظر برای پیاده شدن در مقصد است. اطلاعات مربوط به وسایل نقلیه نیز در قالب جدولی مانند جدول ۲ ذخیره شده است. شناسه تاکسی‌ها^۲ با توجه به رابطه ۵ و شناسه ون‌ها^۳ نیز با توجه به رابطه ۶ شماره‌گذاری شده‌اند.

$$\begin{aligned} taxi_{ids} &= i + 20 \times n_{trips} \\ \text{For } i &= 0, 1, \dots, (n_{taxis} - 1) \end{aligned} \quad (5)$$

n_{trips} : تعداد کل درخواست‌های سفر (در اجرای این تحقیق برابر با ۱۸ درخواست (مجموعاً ۲۶ مسافر) است)
 n_{taxis} : تعداد کل تاکسی‌ها (در اجرای این تحقیق برابر با ۲۰ تاکسی است)

$$\begin{aligned} van_{ids} &= i + 20 \times n_{trips} \\ \text{For } i &= 0, 1, \dots, (n_{vans} - 1) \end{aligned} \quad (6)$$

n_{trips} : تعداد کل درخواست‌های سفر (در اجرای این تحقیق برابر با ۱۸ درخواست (مجموعاً ۲۶ مسافر) است)
 n_{vans} : تعداد کل ون‌ها (در اجرای این تحقیق برابر با ۱۰ ون است).

نمونه‌ای از کروموزوم مدل شده برای این مسئله در زیر آورده شده است.

^۳ Encoding
^۱ Taxi ids
^۲ Van ids

از این رو بحث بهینه کردن این پارامتر پیش می‌آید که نتیجه آن در مورد مسائل مختلف متفاوت بوده و حتی در خود یک مسئله و در مراحل مختلف از یک اجرا نیز بهینه‌های مختلفی می‌تواند وجود داشته باشد. سه عامل مهم که سبب میل به سمت بهینه‌سازی پارامتر اندازه جمعیت شده‌اند عبارت‌اند از:

۱. اندازه مناسب جمعیت وابسته به نوع مسئله بوده و روشی ساده و معین برای تعیین دقیق مقدار آن موجود نیست.
۲. بر طبق مطالعات صورت گرفته، الگوریتم ژنتیک با اندازه جمعیت پویا نسبت به اندازه جمعیت ثابت عملکرد بهتری در تعیین جواب بهینه دارد.
۳. در صورت بهینه‌سازی اندازه جمعیت، نیازی به وارد کردن این مقدار توسط کاربر نیست.

جدول ۱- اطلاعات رزرو سرویس اشتراک سواری

شناسه درخواست	شناسه گره مبدأ	شناسه گره مقصد	زمان مورد انتظار برای از مبدأ حرکت	رسیدن زمان مورد انتظار برای به مقصد	تعداد مسافری هر درخواست
۱	۱۲	۳۴	۷:۰۰	۷:۴۰	۱
۲	۱۳	۳۵	۷:۰۸	۷:۴۸	۱
۳	۱۹	۴۲	۷:۱۵	۸:۰۲	۱
۴	۱۸	۴۱	۷:۱۸	۸:۰۸	۱
۵	۸	۲۰	۷:۰۰	۷:۲۰	۱
۶	۹	۲۱	۷:۰۳	۷:۲۳	۱
۷	۱۵	۲۶	۷:۱۰	۷:۳۱	۱
۸	۱۴	۲۵	۷:۱۳	۷:۳۳	۱
۹	۱۶	۴۵	۷:۰۰	۷:۴۵	۱
۱۰	۱۷	۴۶	۷:۱۰	۷:۵۵	۱
۱۱	۱	۳۵	۷:۰۰	۸:۰۵	۲
۱۲	۲	۳۵	۷:۰۵	۸:۰۵	۲
۱۳	۴	۳۵	۷:۱۲	۸:۰۵	۲
۱۴	۳	۳۵	۷:۱۸	۸:۰۵	۲
۱۵	۳۵	۳۹	۸:۱۰	۹:۰۲	۲
۱۶	۴۲	۴۵	۸:۲۵	۹:۱۰	۲
۱۷	۴۳	۴۶	۸:۳۱	۹:۲۰	۲
۱۸	۳۶	۴۰	۸:۴۸	۹:۲۲	۲

جدول ۲- اطلاعات مربوط به وسایل نقلیه

ظرفیت	نوع	شناسه خودرو
۴	تاکسی	۱۸۰
:	:	:
۴	تاکسی	۱۹۹
۱۰	ون	۳۶۰
:	:	:
۱۰	ون	۳۶۹

الگوریتم ژنتیک^۱ استفاده شده است [۲۲]. اساس الگوریتم یاد شده بر جستجو و بهره‌وری است. در این روش مبنای تغییر اندازه جمعیت، تغییرات تابع بهینگی است. در رابطه ۷ چگونگی محاسبه نرخ رشد جمعیت آورده شده است.

$$X = \text{IncreaseFactor} \times \frac{\maxEvalnum - curEvalnum}{\maxFitnessnew - \maxFitnessold} \times \text{initmaxFitness} \quad (7)$$

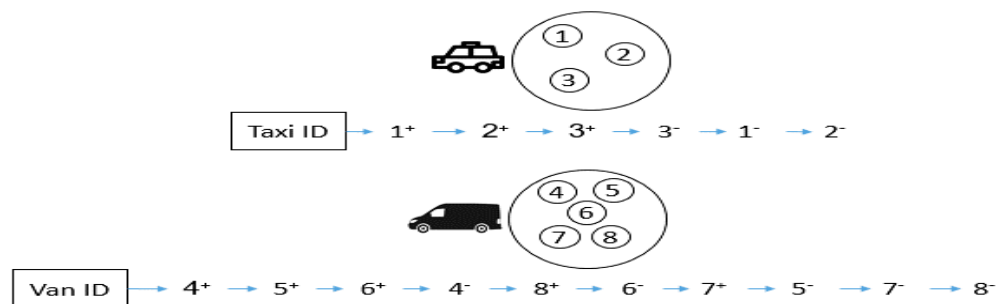
که در آن X : نرخ رشد جمعیت، IncreaseFactor : ضریب ثابت افزایش جمعیت، $\maxEvalnum$: تعداد کل

در این مقاله به منظور پویا کردن اندازه جمعیت از الگوریتم تغییر جمعیت مبتنی بر بهبود تابع بهینگی

^۱ Population resizing on fitness improvement GA

نسل قبل، $initmaxFitness$: بهترین مقدار تابع بهینگی در نسل اول است.

تکرار حلقه، $curEvalnum$: دور جاری تکرار حلقه، $maxFitnessnew$: بهترین مقدار تابع بهینگی نسل جاری، $maxFitnessold$: بهترین مقدار تابع بهینگی



شکل ۱- مثالی از نمایش نحوه گروه‌بندی و ترتیب سوار و پیاده کردن درخواست‌ها در کروموزوم

۴-۱-۴- تابع هزینه تجميع شده^۱

با توجه به توابع هدف ذکر شده در بخش ۳، در این مسئله هدف رسیدن به جوابی است که ضمن کمینه کردن مسافت کل طی شده و زمان سپری شده برای مجموع سفرها بتواند تعداد وسایل نقلیه استفاده شده و نیز تعداد صندلی‌های خالی ون را کمینه کند. از طرفی با رعایت کردن قیود فرض شده در مسئله (قید ظرفیت خودرو و قید پنجره زمانی هر مسافر) به جوابی قابل قبول^۲ برسد که قیود مسئله را نقض نکرده است. به همین منظور برای رسیدن به هدف بالا از رابطه خطی وزنی^۳ ۸ استفاده شده است.

$$Cs = t \times timeCost + d \times distanceCost + v \times n_vehiclesCost + e \times van_empty_seatCost + penaltyConstraint \quad (8)$$

که در آن Cs : مقدار تابع هزینه جواب s ، t : ضریب اهمیت تابع هدف زمان، d : ضریب اهمیت تابع هدف فاصله، v : ضریب اهمیت تابع هدف تعداد وسایل نقلیه، e : ضریب اهمیت تابع هدف تعداد صندلی‌های خالی ون و $penaltyConstraint$: مقدار هزینه اضافی که برای حالت‌های نقض قیود مسئله به تابع هزینه اضافه می‌شود است.

مقدار قید جریمه^۳ با توجه به رابطه ۹ به دست می‌آید.

با توجه به این رابطه زمانی که میزان تابع بهینگی در حال بهبود باشد، جمعیت افزایش پیدا خواهد کرد. از طرفی با توجه به رابطه ۷، نرخ رشد جمعیت وابسته به تعداد تکرارهای صورت گرفته در الگوریتم و بیشینه تکرار مجاز تعریف شده نیز است، از این رو در ابتدای اجرای الگوریتم چون اختلاف دو مقدار تکرار جاری و بیشینه تکرار مجاز زیاد است، میزان نرخ رشد جمعیت بیشتر خواهد بود درواقع هدف افزایش بیشتر تنوع در جمعیت است تا الگوریتم جواب‌های بیشتری را جستجو کند. به تدریج این روند رشد جمعیت کم‌تر خواهد شد تا باکم شدن تنوع در جمعیت، الگوریتم تمرکز بیشتری در پیدا کردن جواب با بهره‌وری بالا کند. حالت دومی که در این الگوریتم جمعیت افزایش می‌یابد، زمانی است که الگوریتم ژنتیک در بهینه محلی گیر کرده است، برای این منظور بعد از تعداد تکرار مشخص، اگر بهبودی در جواب الگوریتم حاصل نشد، مثلاً یک تا ۵ درصد از جمعیت جاری به آن اضافه می‌شود. در غیر این دو حالت هر بار بخشی از جمعیت جاری مثلاً یک تا پنج درصد آن حذف می‌شود. ناگفته نماند که در این الگوریتم برای اندازه جمعیت بیشینه و کمینه مقدار در نظر گرفته شده است، به این معنا که اندازه جمعیت به ترتیب بیشتر و یا کمتر از دو مقدار تعیین شده نمی‌تواند باشد. به طور مثال زمانی که اندازه جمعیت با توجه به نرخ رشد محاسبه شده برای آن از بیشینه مقدار مجاز عبور کند، اندازه جمعیت برابر با مقدار بیشینه در نظر گرفته می‌شود.

^۱ Aggregated cost function

^۲ Feasible solution

^۳ Penalty constraint

$$\begin{aligned} & \text{penaltyConstraint} \\ &= \text{maxCost} \\ &\times \text{total_constraint_violation_value} \end{aligned} \quad (9)$$

که در آن maxCost : مقدار جریمه ثابت و زیاد (در اجرای این تحقیق برابر با ۱۰۰۰ واحد در نظر گرفته شده است)، $\text{total_constraint_violation_value}$: تعداد دفعاتی که در محاسبه میزان تابع هزینه یک کروموزوم، قیود مسئله نقض می‌شوند است.

ازجمله روش‌های مرسوم در بحث کنترل قیود، می‌توان به استفاده از تابع جریمه^۱ مانند روش استفاده شده در این مقاله اشاره کرد. نحوه کارکرد این روش به این صورت است که مستقیماً بر تابع هزینه تأثیر می‌گذارد. نحوه اثرگذاری این تابع بر میزان تابع هزینه به این شکل است که اگر کروموزوم قیدی را نقض کرده باشد و درواقع جوابی غیرممکن برای مسئله باشد، به تابع هزینه مربوط به این کروموزوم مقداری به‌عنوان جریمه اضافه می‌شود [۲۳]. یکی از توابع جریمه مرسوم نیز مانند رابطه ۹ است و بر این اساس که چند بار در یک کروموزوم قیود مسئله نقض شده‌اند میزان جریمه محاسبه و به تابع هزینه مربوط به آن کروموزوم اضافه می‌شود. به این ترتیب به الگوریتم فهمانده می‌شود که فضای جستجوی خود را از فضای چنین کروموزوم‌هایی تغییر دهد و فضاهای دیگری را جست‌وجو کند.

ضرایب تعریف شده در رابطه ۸ را می‌توان به صورت دلخواه و با توجه به سیاست‌های اقتصادی و اجتماعی شرکت ارائه‌دهنده خدمات اشتراک سواری تعیین نمود. به‌طور مثال اگر ضریب زمانی (t) نسبت به سایر ضرایب مقدار بیشتری بگیرد، به رضایت مشتری مبنی بر اینکه سفر خود را با میزان معطلی کمتری انجام دهد، در این حالت بهای بیشتری داده شده است (الگوریتم دنبال جواب‌هایی که در آن‌ها مقدار تابع هزینه مربوط به زمان کمتر است باشد). این کار سبب می‌شود تا سایر توابع هدف به میزان کمتری نسبت به این تابع هدف بهینه شوند، مثلاً این امر ممکن است منجر به استفاده از وسایل نقلیه بیشتر گردد. نمونه‌ای از سیاست‌های اقتصادی نیز می‌تواند اهمیت بیشتر دادن به ضرایب v و e باشد. بدین معنا که شرکت با تعداد کمتری وسیله نقلیه درخواست‌های بیشتری را سرویس‌دهی کند. کم کردن وسایل نقلیه استفاده شده یا پر کردن صندلی‌های

خالی وسیله نقلیه به معنای ایجاد هزینه کمتر برای شرکت خواهد بود.

۲-۴- عملگرهای الگوریتم ژنتیک استفاده شده در مدل

۲-۴-۱- انتخاب والد^۲

در مدل پیاده‌سازی شده از عملگر انتخاب رقابتی^۳ برای انتخاب والدها جهت شرکت در مرحله ترکیب^۴ و جهش^۵ به‌منظور تولید فرزندان جدید استفاده شده است.

۲-۴-۲- ترکیب

این عملگر یک گام اساسی در الگوریتم ژنتیک به‌منظور تولید فرزندان جدید^۶ برای تولید نسل جدید است. در این عملگر از روش ترکیب تک نقطه‌ای^۷ استفاده شده است.

فرزندان تولیدی با این روش ممکن است جوابی ممکن برای فضای مسئله نباشند. چراکه ممکن است حالتی ایجاد شود که در آن مسافری در یک وسیله نقلیه سوار شده باشد و با وسیله نقلیه دیگری در مقصد پیدا شود که این امر با فرض‌های مسئله در تضاد است و یا ممکن است پیاده شدن مسافر قبل از سوارشدن او واقع شود و همچنین ممکن است حالتی ایجاد شود که در آن بعضی از وسایل نقلیه هیچ درخواستی را سرویس‌دهی نکنند؛ یعنی در کروموزوم یک وسیله نقلیه بدون مسافر باشد. از این رو از یکسری توابع اصلاح‌کننده استفاده شد؛ بنابراین فرزندان تولیدی در مرحله ترکیب ابتدا با استفاده از این توابع، اصلاح شده سپس وارد مرحله جهش می‌شوند. در ادامه به بیان عملگرهای جهش ابتکاری مورد استفاده در این مقاله پرداخته شده است.

۲-۴-۳- جهش

عملگر جهش می‌تواند توانایی جست‌وجوی محلی الگوریتم ژنتیک و نیز ایجاد تنوع در نسل را ارتقا دهد که

^۲ Parent selection

^۳ Tournament selection

^۴ Cross over

^۵ Mutation

^۶ New offspring

^۷ Single-Point Crossover

^۱ Penalty function

به تبع کاهش تعداد وسایل نقلیه مورد استفاده برای سرویس دهی به مسافران بود، چراکه دو عملگر جایگذاری و اسکرمبل، قابلیت رفع این مشکل را ندارند. از جمله مشکلاتی که در بهینه کردن اشتراک سواری تطبیق مسافران رخ می دهد، حالتی مانند کروموزوم زیر است:

[vehicle1, ۱, ۲, -۱, -۲, vehicle2, ۵, ۶, -۵, -۶, vehicle3, ۳, ۴, -۳, -۴]

در این حالت مقدار تابع هزینه تجمیع شده برابر با ۱۰۶ واحد است. حالت مناسب برای ترکیب درخواست های موجود در این کروموزوم با توجه به جدول ۱ به صورت کروموزوم زیر است که در این حالت مقدار تابع هزینه برابر با ۸۳ واحد می شود. در این حالت تعداد وسایل نقلیه کاهش می یابد.

[vehicle1, ۱, ۲, -۱, -۲, ۳, ۴, -۳, -۴, vehicle2, ۵, ۶, -۵, -۶]

اما جهش های متعارف مانند جایگذاری در ترکیب دو وسیله نقلیه ۱ و ۳، موفق نمی شود و در حالتی تنها می تواند مثلاً یکی از مسافران وسیله نقلیه ۳ را به وسیله نقلیه ۱ انتقال دهد، مانند کروموزوم زیر که میزان تابع هزینه تجمیع شده برای این حالت برابر با ۱۳۰ واحد می شود. دلیل افزایش مقدار تابع هزینه در این کروموزوم این است که زمان سرویس دهی به ۳ مسافر بیشتر می شود و از طرفی تعداد وسایل نقلیه نیز کاهش پیدا نکرده است.

[vehicle1, ۱, ۲, ۳, -۱, -۲, -۳, vehicle2, ۵, ۶, -۵, -۶, vehicle3, ۴, -۴]

عملگر اسکرمبل توانایی بیشتری در حل این مشکل را دارد اما در حالتی مانند کروموزوم یاد شده، استفاده از این عملگر منجر به تغییر بخش میانی کروموزوم یعنی درخواست های منتسب به وسیله نقلیه شماره ۲ شده و به این ترتیب به مشکل برمی خورد. از این رو عملگر ابتکاری ادغام وسایل نقلیه را پیاده سازی کردیم. نحوه کارکرد این عملگر به این صورت است که در کروموزوم ورودی نمایه مربوط به دو وسیله نقلیه به صورت تصادفی انتخاب شده و هدف این است که وسیله نقلیه دوم حذف شده و درخواست های منتسب به آن با وسیله نقلیه اول در کنار

عاملی مهم در بیرون آمدن از بهینه های محلی^۱ و رسیدن به بهینه کلی^۲ خواهد بود [۲۴].

در مدل پیاده سازی شده این مقاله از چهار عملگر جهش جایگذاری^۳، اسکرمبل^۴ و دو عملگر ابتکاری ادغام وسایل نقلیه^۵ و تغییر ون به تاکسی^۶ استفاده شده است. برای هر یک از این عملگرهای جهش به استثناء عملگر تغییر ون به تاکسی که احتمال رخ داد آن برابر یک است، یک احتمال رخداد^۷ (pm) و یک بازه متناسب با آن [0, pm] لحاظ می شود سپس برای هر کروموزوم ورودی به مرحله جهش یک عدد تصادفی تولید می شود، عدد تصادفی تولیدی در بازه مربوط به هر عملگر قرار گرفت آن عملگر روی کروموزوم ورودی اعمال خواهد شد. سپس روی خروجی حاصل، عملگر تغییر ون به تاکسی اعمال گردیده و فرزند جهش یافته در لیست خروجی حاصل از مرحله جهش قرار می گیرد. دلیل استفاده از این عملگرها و روند تکمیل الگوریتم در بخش ۵-۱ به طور کامل شرح داده شده است. در ادامه نحوه کارکرد هر یک از عملگرها آورده شده است.

۱. عملگر جایگذاری: این عملگر که یکی از عملگرهای جهش مرسوم است، دو نمایه تصادفی از کروموزوم ورودی انتخاب شده و ژن مربوط به نمایه دوم برداشته و در نمایه بعدی ژن اول قرار می گیرد.

۲. عملگر اسکرمبل: نحوه کارکرد این عملگر به این صورت است که دو نمایه تصادفی از کروموزوم ورودی انتخاب شده و سپس ژن های موجود بین این دو نمایه با چینی تصادفی در کروموزوم جایگذاری می شوند. در روند اجرای الگوریتم و بعد از پیاده سازی و اعمال عملگر ادغام وسایل نقلیه این نتیجه حاصل گردید که لزومی به استفاده از عملگر اسکرمبل نیست و از میان عملگرهای جهش کنار گذاشته شد.

۳. عملگر ادغام وسایل نقلیه: هدف از ایجاد و به کارگیری این عملگر ابتکاری، بهینه کردن حالت اشتراک سواری از طریق استفاده حداکثری از ظرفیت خودروها و

۱ Local optimum

۲ Global optimum

۳ Insert

۴ Scramble

۵ Join Vehicles

۶ Swap van to taxi

۷ Mutation probability

درخواست‌های مربوط به این وسیله سرویس‌دهی شوند. همچنین نحوه چینش سوار و پیاده شدن این مجموعه مسافران به نحوی برنامه‌ریزی شده که قید ظرفیت خودرو همواره رعایت می‌شود، از این رو به‌طور مثال دیگر محدودیتی در حالت ترکیب شدن مسافران یک ون با یک تاکسی و برعکس نخواهد بود.

۴. عملگر تغییر ون به تاکسی: در روند کار حالاتی ایجاد می‌گردد که در آن‌ها ون برای کمتر از نصف ظرفیت خود جهت سرویس‌دهی به مسافران استفاده می‌شد. با این عملگر ابتدا شناسه وسایل نقلیه ون موجود در کروموزوم ورودی به ترتیب با تاکسی‌هایی تصادفی که در کروموزوم به کار نرفته‌اند جایگزین شده و سپس میزان هزینه‌ای که این حالت برای کروموزوم ایجاد می‌کند را محاسبه کرده و اگر بهبودی حاصل شود، تاکسی جایگزین ون می‌شود.

۴-۲-۴- الگوریتم‌های جست‌وجوی محلی

مسئله دیگری که بعد از اعمال عملگر جایگذاری یا اسکرمبل و یا ادغام وسایل نقلیه مطرح است، چگونگی نوبت‌دهی برای سوار و پیاده شدن مسافران است تا به نحوی بهینه به درخواست‌هایی که در قسمت‌های تغییر یافته کروموزوم قرار گرفته‌اند پاسخ داده شود. از این رو از دو الگوریتم جست‌وجوی محلی ابتکاری مبتنی بر اولویت زمانی سوار و پیاده شدن مسافران و الگوریتم جست‌وجوی محلی مرسوم و قدرتمند ژنتیک به‌منظور افزایش کیفیت جواب تولیدی استفاده شده است. این دو الگوریتم روی قسمت (های) تغییر یافته کروموزوم ورودی اعمال شده و خروجی حاصل را جایگزین همان قسمت (ها) در کروموزوم ورودی می‌کنند و به این ترتیب سعی در بهبود وضعیت آن کروموزوم دارند.

در خصوص الگوریتم جست‌وجوی محلی ابتکاری مبتنی بر اولویت زمانی سوار و پیاده شدن مسافران، مسافری که زمان مورد انتظارش برای سوار شدن از سایر مسافران آن مجموعه زودتر باشد، سوار وسیله نقلیه می‌شود سپس زمان مورد انتظار این مسافر برای پیاده شدن در مقصدش با زمان مورد انتظار باقی مسافران برای سوار شدن به وسیله نقلیه مقایسه شده، اگر اولویت بیشتری داشت، ابتدا وسیله نقلیه آن مسافر را به مقصدش رسانده و بعد به مبدأ مسافر بعدی که اولویت بیشتری دارد

رفته و آن را سوار می‌کند. این روال برای تمامی مسافران تکرار می‌شود تا به نحوی مناسب و برحسب اولویت زمانی مورد انتظارشان در مبدأشان سوار و در مقصدشان پیاده شوند. نکته مهم اینکه در حالتی که اولویت یک مسافر برای سوار شدن از اولویت مسافران سوار بر تاکسی به جهت پیاده شدن از تاکسی در مقصدشان بیشتر باشد اما خودرو صندلی خالی برای سوار کردن مسافر جدید نداشته باشد، ابتدا یکی از مسافران سوار بر تاکسی که اولویت بالاتری در پیاده شدن دارد، در مقصدش پیاده شده و بعد مسافر جدید یادشده در مبدأش سوار بر تاکسی خواهد شد.

الگوریتم دوم نیز نوعی خاص از الگوریتم‌های جست‌وجوی محلی مبتنی بر الگوریتم ژنتیک^۱ است. در این حالت یک الگوریتم ژنتیک با جمعیت کم و سیر تکاملی کوتاه باهدف بهبود دادن جواب‌های تولیدی از الگوریتم بیرونی (در این مدل الگوریتم بیرونی نیز الگوریتم ژنتیک است) استفاده می‌شود. در واقع می‌توان گفت وظیفه الگوریتم بیرونی جست‌وجو فضای جواب مسئله است و وظیفه الگوریتم ژنتیک درونی جست‌وجو در همسایگی بهترین کروموزوم نسل جاری جهت ارتقا و بهبود این کروموزوم است [۲۵]. از این الگوریتم تنها زمانی که کروموزوم ورودی به یکی از سه عملگر جهش جایگذاری، اسکرمبل و یا ادغام وسایل نقلیه، بهترین کروموزوم مرحله قبل (مرحله ترکیب) باشد، استفاده می‌شود. نحوه کارکرد این الگوریتم به این صورت است که همان قسمتی (هایی) از کروموزوم ورودی که در عملگرهای جهش نام‌برده دچار تغییر شده را به‌عنوان کروموزوم ورودی برای جمعیت خود انتخاب می‌کند. همچنین با اعمال الگوریتم جست‌وجوی محلی مبتنی بر اولویت زمانی بر روی این قسمت، یک کروموزوم دیگر برای جمعیت خود تولید می‌کند. در نهایت از این کروموزوم دوم تعدادی نمونه با چینی تصادفی به‌نحوی که جوابی ممکن باشند (خطایی نداشته باشند) را ایجاد کرده و جمعیت اولیه خود را تشکیل می‌دهد. حال این الگوریتم اجرا شده و در نهایت بهترین کروموزوم تولیدی را به‌عنوان خروجی به الگوریتم بیرونی پیشنهاد می‌دهد. در واقع خروجی (های) حاصل جایگزین همان قسمت (های) تغییر یافته در کروموزوم ورودی می‌شوند.

^۱ Local Genetic Algorithm Search

نظر گرفته شده است؛ اما از طرفی با قرار دادن تابع هدف کمینه سازی تعداد وسایل نقلیه سعی شده تا از بهینه ترین حالت ممکن تعداد وسایل نقلیه برای سرویس دهی به درخواست های موجود استفاده شود، به طوری که در ادامه خواهید دید برای سرویس دهی به درخواست های فرض شده در این مدل، تنها وجود سه تاکسی و دو ون کافی است. مدل بهینه سازی مبتنی بر الگوریتم ژنتیک در این مقاله با زبان برنامه نویسی پایتون و با بهره گیری از پردازش موازی نوشته شده است. پارامترهای تنظیم شده برای الگوریتم در جدول ۳ آورده شده است.

جدول ۳- مجموعه پارامترهای استفاده شده در الگوریتم

۱۰۰۰	بیشینه نسل
۱۵	اندازه جمعیت اولیه
۱۵	کمترین اندازه جمعیت
۱۰۰	بیشینه اندازه جمعیت
۱	احتمال رخداد ترکیب
۰.۶	احتمال رخداد جهش ادغام وسایل نقلیه
۰.۴	احتمال رخداد جهش جایگذاری
۱	احتمال رخداد جهش تغییر ون به تاکسی
۲	ضریب اهمیت تابع هدف زمان
۱	ضریب اهمیت تابع هدف فاصله
۰.۵	ضریب اهمیت تابع هدف تعداد وسایل نقلیه
۰.۵	ضریب اهمیت تابع هدف تعداد صندلی های خالی ون
۴۰ km/h	سرعت متوسط وسیله نقلیه
۱۰۰۰	بیشینه میزان جریمه

۵-۱- روند تکامل الگوریتم تا رسیدن به بهترین جواب ممکن

در ادامه این بخش به بیان روند پیش گرفته تا رسیدن به الگوریتم مناسب، به نحوی که بتواند به بهترین جواب ممکن برسد پرداخته شده است. از آنجایی که داده های این مسئله به صورت شبیه سازی شده هستند، لذا به نحوی تنظیم شده اند که بتوان بهترین جواب ممکن را پیش از طراحی و پیاده سازی الگوریتم در اختیار داشت. بهترین جواب مورد انتظار برای داده های شبیه سازی شده در این مقاله در زیر آورده شده است.

-۵، -۸، -۶، ۵، ۱۸۲، -۴، -۳، -۲، -۱، ۴، ۳، ۲، ۱، ۱۸۱، ۱۴، ۱۳، ۱۲، ۱۱، ۳۶۱، -۱۰، -۹، ۱۰، ۹، ۱۸۳، -۸، -۷، ۶، -۱۶، -۱۵، ۱۸، ۱۷، ۱۶، ۱۵، ۳۶۲، -۱۱، -۱۲، -۱۳، -۱۴، -۱۸، ۱۷]

در الگوریتم ژنتیک محلی، اندازه جمعیت ثابت و برابر با ۱۰، عملگر انتخاب رقابتی^۱ به عنوان عملگر انتخاب والد، عملگر ترکیب تک نقطه ای به عنوان عملگر ترکیب، عملگر جهش جابه جایی^۲ به عنوان عملگر جهش و شرط توقف رسیدن به ۵۰ بار تکرار حلقه لحاظ شده است.

در این دو الگوریتم جست و جوی محلی دو حالت استفاده از تاکسی و ون برای سرویس دهی به مسافران مربوط استفاده شده و حالتی که میزان هزینه کمتری را ایجاد کنند، استفاده می شود.

در نهایت ابتدا میزان تابع هزینه هر یک از فرزندان تولیدی در مرحله جهش محاسبه گردیده، سپس یک مجموعه واحد از ترکیب نسل جاری و فرزندان تشکیل شده و به تعداد لازم از بهترین آن ها (کمترین تابع هزینه) انتخاب می شوند و نسل بعد را تشکیل می دهند. این فرآیند تکرار می شود تا الگوریتم به شرط توقف (بیشینه تکرار حلقه) برسد. در شکل ۲ فلوچارت مربوط به روند اجرای الگوریتم آورده شده است.

۵- پیاده سازی و ارزیابی مدل

در این مدل تعداد ۱۸ درخواست که مجموعاً تعداد ۲۶ مسافر را شامل می شوند در نظر گرفته شده که می خواهند در یک شبکه راه مطابق شکل ۳ که شامل ۴۶ گره و ۷۵ یال است، جابه جا شوند. گراف زیر از گراف استفاده شده در مقاله [۸] الگو گرفته است.

در این شکل مسیر سفر هر دسته از مسافران نیز مشخص شده است. مسیر ۱ مربوط به مجموعه درخواست های ۱ تا ۴، مسیر ۲ مربوط به درخواست های ۵ تا ۸، مسیر ۳ مربوط به درخواست های ۹ و ۱۰، مسیر ۴ مربوط به درخواست های ۱۱ تا ۱۴ و مسیر ۵ مربوط به درخواست های ۱۵ تا ۱۸ است.

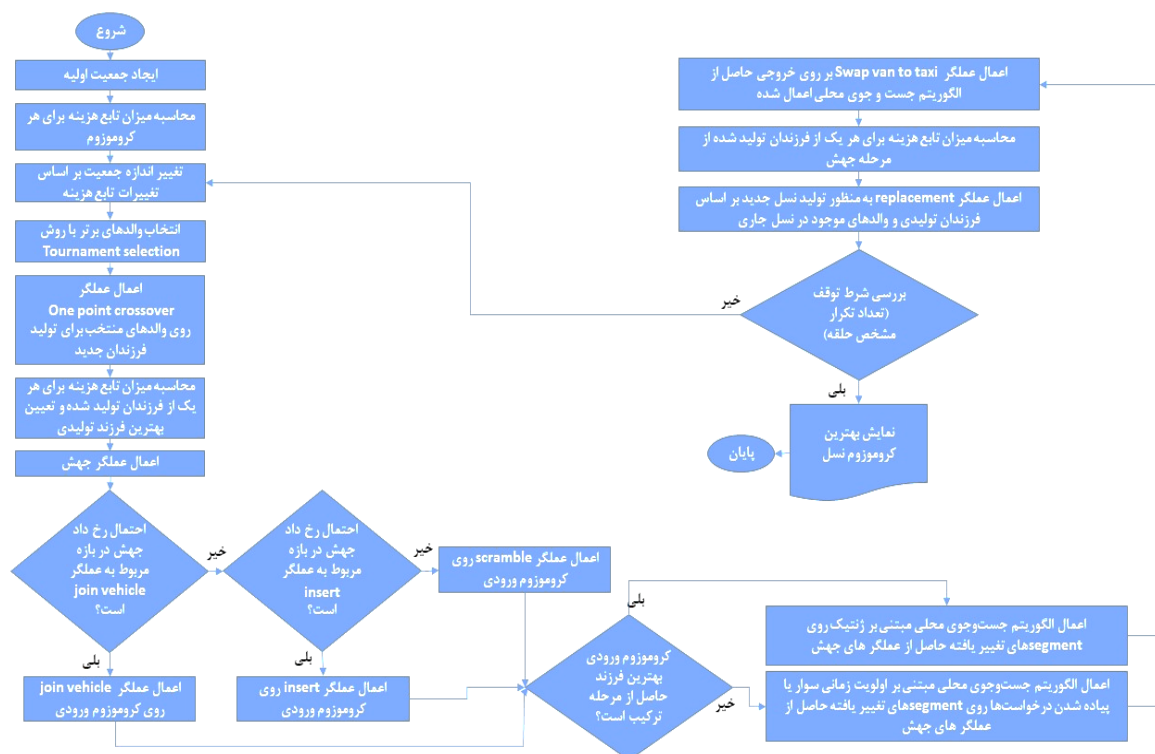
فاصله بین گره های همسایه در این شبکه راه به صورت تصادفی و برحسب کیلومتر به نحوی که توپولوژی شبکه به هم نخورد انتخاب شده اند. در این مدل با فرض ایجاد حالتی که در آن هر یک از درخواست ها بخواهند با یک وسیله نقلیه جداگانه سفر کنند، تعداد ۱۸ تاکسی متناسب با ۱۸ درخواست سفر ثبت شده در سیستم و نیز تعداد ۱۰ ون در

^۱ Tournament selection

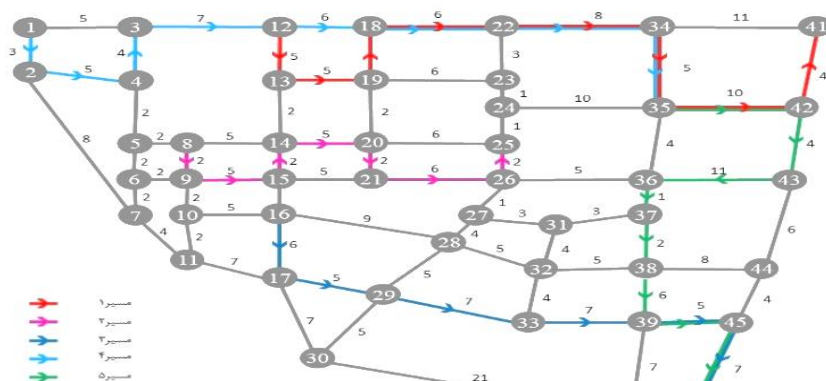
^۲ Swap Mutation

از این‌رو برای اینکه الگوریتم طراحی شده بتواند به جواب مورد نظر یاد شده برسد، سناریوهای اول تا چهارم طرح‌ریزی و پیاده‌سازی شدند. تمایز اصلی این سناریوها بر اساس اعمال عملگرهای جهش مختلف و نیز ترکیب این عملگرها با یکدیگر است که نهایتاً در طی اجرای

الگوریتم تحت سناریو چهارم، الگوریتم موفق به رسیدن به جواب مطلوب برسد. سناریوهای پنجم و ششم نیز به منظور بهبود زمان اجرای الگوریتم طراحی و پیاده‌سازی شدند که در ادامه به بیان کامل سناریوهای مختلف پرداخته شده است.



شکل ۲- فلوچارت الگوریتم طراحی شده



شکل ۳- شبکه راه شامل ۴۶ گره و ۷۵ یال

سناریو اول، استفاده از عملگر جایگذاری به عنوان عملگر جهش در الگوریتم:

در این سناریو تنها از عملگر جایگذاری به عنوان عملگر جهش، در الگوریتم استفاده شد. چراکه در ابتدا تصور می‌شد با استفاده از این عملگر و با توجه به نحوه کارکرد

آن، با جابه‌جایی مسافران در بین وسایل نقلیه بتوان تنوع در جواب‌ها ایجاد کرده و به حالت ایده آل رسید؛ اما الگوریتم به مشکل بهینه محلی برخورد کرد و پس از گذشت ۱۰۰۰ نسل (بیشینه تکرار الگوریتم) نیز تغییری در نتایج ایجاد نشد. خروجی نهایی یکی از اجراهای الگوریتم تحت این سناریو در زیر آورده شده است.

سناریو سوم، اضافه کردن عملگر جهش ابتکاری تغییر ون به تاکسی:

با توجه به مشکل پیش آمده در سناریو قبلی، جهت کم کردن تابع هزینه مربوط به تعداد صندلی های خالی ون از عملگر جدید و ابتکاری در مرحله جهش استفاده گردید. به این صورت که روی کروموزوم خروجی حاصل از عملگر جایگذاری یا اسکرمل این عملگر جهش جدید اعمال می شد، این عملگر باقابلیت تبدیل ون به تاکسی از بروز صندلی های خالی در ون جلوگیری می کند. نتیجه حاصل از اجرای مربوط به این فرم جدید از الگوریتم به صورت زیر است. همان طور که دیده می شود مشکل مربوط به وسیله نقلیه ون (با جایگزینی تاکسی با ون) حل شد، بااین حال مشکلات مربوط به ناقص و کم بودن تطبیق و دسته بندی بهینه و مناسب مسافرها با یکدیگر همچنان باقی است.

۱۸۳، -۳، -۴، ۴، ۳، -۶، ۶، ۱۹۷، -۱۰، -۹، ۱۰، ۹، ۱۸۰، ۱۳، ۱۸۲، -۷، -۸، -۵، ۸، ۷، ۵، ۱۹۳، -۱۸، -۱۷، ۱۷، ۱۸، -۱۱، -۱۲، ۱۲، ۱۱، -۱، -۲، ۱۹۶، ۱، ۲، ۱۸۶، -۱۴، -۱۳، ۱۴، -۱۶، -۱۵، ۱۵، ۱۶، ۱۸۱، ۱۲]

سناریو چهارم، اضافه کردن عملگر جهش ابتکاری ادغام وسایل نقلیه:

در این سناریو، هدف ترکیب مسافران دو وسیله نقلیه با یکدیگر است. با توجه به مشکلات بیان شده در سناریوهای قبلی و عدم توانایی عملگرهای جایگذاری و اسکرمل در حل مسئله و رفع مشکل مربوط به ناقص و کم بودن تطبیق و دسته بندی بهینه و مناسب مسافران، در این سناریو هدف از ایجاد این عملگر ابتکاری افزایش میزان ترکیب مسافران بود.

از طرفی مسئله نحوه نوبت دهی سوار و پیاده شدن بهینه مسافرانی که در یک وسیله نقلیه قرار می گیرند نیز به وجود می آید. بر این اساس دو الگوریتم جست و جوی محلی مبتنی بر اولویت زمانی مسافران و مبتنی بر الگوریتم ژنتیک پیاده سازی و اعمال گردید. به نحوی که در این سناریو اگر کروموزومی تحت یکی از عملگرهای ادغام وسایل نقلیه، جایگذاری و یا اسکرمل مورد جهش قرار بگیرد، خروجی حاصل وارد تابع جست و جوی محلی ارائه شده می شود تا بتوان برای آن بخش هایی از کروموزوم که در جهش تغییر کرده اند، چینش مناسب را پیدا نمود.

۶، ۵، ۱۹۳، -۱۶، -۱۵، ۱۵، ۱۶، -۱۳، -۱۴، ۱۴، ۱۳، ۱۸۱، ۱۲، ۱۸۵، -۱۸، -۱۷، ۱۷، ۳۶۲، -۸، -۷، -۶، -۵، ۸، ۷، ۱۹۱، ۹، -۴، -۳، -۲، -۱، ۴، ۳، ۲، ۱، ۱۹۹، -۱۲، -۱۱، ۱۱، -۱۰، -۹، ۱۰]

با توجه به این خروجی پیداست که از ون به اشتباه استفاده شده است (ون ۳۶۲ دو درخواست ۱۷ ام و ۱۸ ام را که هر یک دو مسافر دارند و مجموعاً ۴ مسافر می شوند را سرویس دهی کرده و ۶ صندلی خالی دارد) که منجر به ایجاد هزینه برای تابع هدف تعداد صندلی های خالی ون تعریف شده در بخش ۳-۴، در کروموزوم نهایی گردیده است. از طرفی با توجه به بهترین کروموزوم مورد نظر که به آن اشاره شد، عملگر جایگذاری به تنهایی کفایت لازم در رساندن الگوریتم به جواب مناسب و رهایی آن از بهینه محلی را ندارد.

سناریو دوم، اضافه کردن عملگر اسکرمل به عنوان یک عملگر دیگر در مرحله جهش:

در این سناریو با توجه به مشکلات بیان شده در سناریو اول، تصور شد که عملگر اسکرمل با توجه به نحوه کارکردی که دارد بتواند در کنار عملگر جایگذاری مشکل مربوط به گیر کردن الگوریتم در بهینه محلی را حل کند، چراکه تصور می شد این عملگر با ایجاد تغییرات زیاد در کروموزوم و ترکیب و جابه جایی مسافرها بین وسایل نقلیه مختلف، تنوع لازم در جوابها را ایجاد کرده و موفق عمل کند. بااین حال بعد از اجرای الگوریتم بر پایه ی این سناریو نتیجه زیر حاصل شد.

۱۲، ۱۱، ۳۶۶، -۶، -۵، ۵، ۶، ۱۸۳، -۲، -۱، ۲، ۱، ۱۸۸، -۱۵، -۱۸، ۱۷، ۱۶، -۱۴، -۱۲، -۱۳، ۱۵، -۱۱، ۱۴، ۱۳، -۴، -۳، ۴، ۳، ۳۶۱، -۱۰، -۹، ۱۰، ۹، ۳۶۹، -۱۷، -۱۸، ۱۶، -۸، -۷، ۸، ۷، ۱۸۵]

با توجه به خروجی حاصل، وسایل نقلیه ۳۶۱ و ۳۶۹ که ون هستند منجر به ایجاد ۱۶ واحد هزینه برای تابع هدف تعداد صندلی های خالی ون و به تبع آن، مقدار زیاد تابع هدف تجمع شده گردیده اند. چراکه این دو ون هر کدام تنها برای دو درخواست آن هم برای دو مسافر به کار گرفته شده اند که در دنیای واقعی استفاده از ون برای دو مسافر منطقی نیست. در مجموع عملگر اسکرمل نیز در تطبیق و دسته بندی بیشتر مسافرها نسبت به سناریو قبل تفاوت چندانی نداشت.

نهایتاً الگوریتم در این سناریو موفق به رسیدن به جواب بهینه کلی یادشده که در زیر آورده شده است، می‌شود.

-۵، -۸، -۷، ۶، ۵، ۱۸۱، -۴، -۳، -۲، -۱، ۴، ۳، ۲، ۱، ۱۸۰ [۱۴، ۱۳، ۱۲، ۱۱، ۳۶۰، -۱۰، -۹، ۱۰، ۹، ۱۸۲، -۸، -۷، ۶، -۱۶، -۱۵، ۱۸، ۱۷، ۱۶، ۱۵، ۳۶۱، -۱۱، -۱۲، -۱۳، -۱۴، ۱۷، -۱۸]

سناریو پنجم، حذف عملگر اسکرمل از میان عملگرهای جهش تعریف‌شده در مدل:

در این سناریو با توجه به ایجاد و پیاده‌سازی عملگر ادغام وسایل نقلیه احساس گردید که نیازی به استفاده از عملگر اسکرمل نیست؛ بنابراین سناریو پنجم یعنی حذف عملگر اسکرمل از الگوریتم، طرح‌ریزی و اجرا گردید. نتیجه حاصل از این سناریو دقیقاً مشابه سناریو چهارم بود و به لحاظ زمانی اجرای الگوریتم، زمان کمتری نسبت به سناریو چهارم داشت. به همین سبب عملگر اسکرمل از الگوریتم پیاده‌سازی شده کنار گذاشته شد.

سناریو ششم، بررسی تأثیر پویا بودن اندازه جمعیت نسبت به حالتی که اندازه جمعیت ثابت فرض می‌شود:

در این سناریو که درواقع همان سناریو پنجم بوده و تنها تفاوتش این است که اندازه جمعیت در کل اجرای

الگوریتم، ثابت و برابر با بیشینه اندازه جمعیت فرض شده در حالت جمعیت پویا (برابر با ۱۰۰) است. این در حالی است که در سناریوی پنجم اندازه جمعیت پویا بود. نتایج حاصل از سناریو ششم دقیقاً مشابه سناریو قبل است با این تفاوت که در این سناریو زمان اجرای الگوریتم تقریباً ۲۱۷ ثانیه بیشتر از سناریو قبلی بود. دلیل این افزایش زمان محاسباتی در الگوریتم، بالا بودن و ثابت بودن اندازه جمعیت در این سناریو است. چراکه در محاسبه تابع هزینه الگوریتم سناریو ششم می‌بایست در یک‌بار اجرای این تابع محاسبه بر روی ۱۰۰ کروموزوم انجام شود و این در حالی است که در حالت استفاده از جمعیت داینامیک و باکم و زیادشدن اندازه

جمعیت متناسب با تغییرات تابع بهینگی، در بیشترین حالت خود زمانی که اندازه جمعیت برابر با ۱۰۰ شود، زمانی برابر با حالت جمعیت ثابت خواهد گرفت و در سایر حالات مسلماً این محاسبات در زمان کمتری صورت می‌پذیرد. ازاین‌رو در این مدل از روش اندازه جمعیت متغیر یا پویا استفاده شد تا بتوان زمان محاسباتی را در کنار بهره‌گیری از روش پردازش موازی، کاهش داد. در جدول ۴ خلاصه‌ای از نتایج حاصل از هر یک از سناریوها آورده شده است. نتایج موجود در جدول ۴ میانگین خروجی هر یک از سناریوها در طی ۲۵ اجرای مختلف الگوریتم است.

جدول ۴- مقایسه نتایج حاصل از سناریوهای شش‌گانه

ردیف	مجموع زمان معطلی (دقیقه)	مجموع فاصله (کیلومتر)	وسایل تعداد نقلیه	تعداد صندلی خالی در ون	تعداد نقض قید پنجره زمانی	تعداد نقض قید ظرفیت خودرو	میزان هزینه جمعیتی	تعداد دفعات	تعداد دفعات
۱	۱۶۶	۲۴۹	۶	۶	۱	۰	۲۰۴۸۸	۷۲۵	۱۰۰۰
۲	۱۰۰	۲۲۸	۶	۱۶	۱	۰	۲۰۴۲۰	۵۹۵	۱۰۰۰
۳	۲۱۶	۲۶۸	۸	۰	۱	۰	۲۰۵۴۵	۶۸۰	۱۰۰۰
۴	۴۶	۱۹۷	۵	۰	۰	۰	۳۰۳	۱۴۱۷	۵۰۰
۵	۴۶	۱۹۷	۵	۰	۰	۰	۳۰۳	۱۳۰۲	۵۰۰
۶	۴۶	۱۹۷	۵	۰	۰	۰	۳۰۳	۱۵۱۹	۵۰۰

سناریو مقادیر پارامترهای استفاده‌شده در الگوریتم مطابق با مقادیر گفته‌شده در جدول ۳ در نظر گرفته‌شده است. در جدول ۵ مقایسه‌ای بین مسافت پیموده شده سفر هر یک از مسافران در دو حالت سفر تکی و سفر اشتراکی آورده شده است. همان‌طور که در این جدول قابل‌مشاهده است، مسافت پیموده شده سفر برای مسافران در حالت

۵-۲- نتایج و خروجی‌های مختلف حاصل از اعمال سناریو پنجم روی مدل

در ادامه جداول و نمودارهای مختلف، خروجی‌های حاصل از اعمال سناریو پنجم آورده شده است. در این

اشتراکی بیشتر از مسافت پیموده شده سفر تکی بوده که همین امر نیز سبب افزایش زمان سفر و معطلی در حالت اشتراکی نسبت به سفر تکی است. از طرفی دلیل افزایش مسافت سفر در حالت اشتراکی به علت ایجاد مسیر انحرافی در سفر به منظور سرویس‌دهی به سایر درخواست‌های موجود در هر دسته است. در این جدول همان‌طور که قابل مشاهده است، میانگین و انحراف معیار مربوط به اختلاف دو حالت سفر تکی و اشتراکی مسافران نیز محاسبه گردیده است. از میانگین به دست آمده می‌توان دریافت که به‌طور متوسط برای هر مسافر، حالت اشتراک سواری منجر به افزایش مسافت سفر به اندازه ۶.۸۹ کیلومتر برای آن مسافر نسبت به حالتی که تکی سفر

کند، خواهد شد. از طرفی از انحراف معیار به دست آمده می‌توان این نتیجه را گرفت که عدالت بین مسافران به لحاظ مسافتی که در سفر اشتراکی می‌پیمایند، به‌خصوص برای درخواست‌های ۱۵ و ۱۶ و ۱۷ رعایت نشده است. به این معنی که بعضی از مسافران متحمل طی مسافت بیشتر نسبت به بعضی دیگر در سفر اشتراکی می‌شوند. یکی از راهکارهای برقراری عدالت، به جهت حفظ رضایت مشتریان در استفاده از سرویس‌های اشتراکی می‌تواند ایجاد مدل‌های قیمت دهی مناسب باشد به نحوی که مسافرینی با طی مسافت بیشتر و به تبع معطلی بیشتر مبلغ کمتری را نسبت به مسافرین دیگر بپردازند.

جدول ۵- مقایسه بین مسافت پیموده شده سفر تکی و اشتراکی برحسب کیلومتر

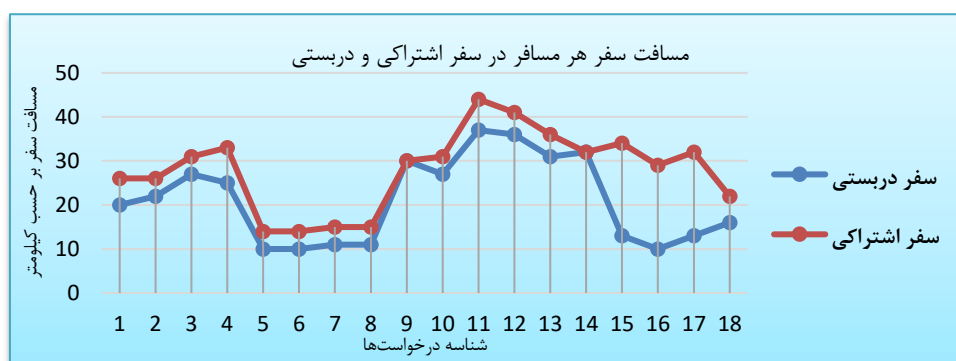
شناسه درخواست	مسافت طی شده در حالت سفر تکی (km)	مسافت طی شده در حالت سفر اشتراکی (km)	تفاضل دو حالت
۱	۲۰	۲۶	۶
۲	۲۲	۲۶	۴
۳	۲۷	۳۱	۴
۴	۲۵	۳۳	۸
۵	۱۰	۱۴	۴
۶	۱۰	۱۴	۴
۷	۱۱	۱۵	۴
۸	۱۱	۱۵	۴
۹	۳۰	۳۰	۰
۱۰	۲۷	۳۱	۴
۱۱	۳۷	۴۴	۷
۱۲	۳۶	۴۱	۵
۱۳	۳۱	۳۶	۵
۱۴	۳۲	۳۲	۰
۱۵	۱۳	۳۴	۲۱
۱۶	۱۴	۲۹	۱۹
۱۷	۱۷	۳۲	۱۹
۱۸	۱۶	۲۲	۶
میانگین		۶.۸۹	
انحراف معیار		۶.۰۴	

در شکل ۴ نمودار مقایسه مسافت پیموده شده سفر هر یک از مسافران در دو حالت سفر تکی و اشتراکی قابل مشاهده است. با توجه به اینکه در این مقاله سرعت وسایل نقلیه ثابت فرض شده است، نمودار زمان سفر هر یک از مسافران در دو حالت اشتراک سواری و سفر تکی

مشابه نمودار مربوط به مسافت طی شده (شکل ۴) خواهد بود. از این‌رو از نمایش این نمودار صرف نظر شده است. در جدول ۶ مقایسه‌ای بین مسافت پیموده شده برای هر وسیله نقلیه استفاده شده جهت سرویس‌دهی به درخواست‌ها در دو حالت سفر اشتراکی و سفر تکی، یعنی زمانی که هر یک از مسافران منتسب شده را به صورت تکی

جابه‌جا نمایند، بیان‌شده است. واضح است که مسافت محاسبه‌شده برای حالت سفر تکی ربطی به خودروی تخصیص‌یافته به آن ندارد، مثلاً در مورد ردیف اول جدول بدون توجه به شماره خودروی ۳۶۲، می‌توان گفت که طول مجموع سفر تکی مربوط به سفر درخواست‌های ۱۵، ۱۶، ۱۷ و ۱۸ برابر با ۱۳۶ کیلومتر است. مسیر طی شده در حالت اشتراکی نیز آورده شده است که این نقاط درواقع

همان گره‌های گراف شکل ۵ هستند. تفاوت مجموع فاصله طی شده در حالت اشتراکی با حالت سفر تکی تقریباً برابر با ۲۰۰ کیلومتر بوده که عدد قابل‌توجهی است. در شکل ۵ نمودار مربوط به مقایسه مجموع مسافت طی شده در حالت سفر تکی و اشتراکی برای هر وسیله نقلیه قابل‌مشاهده است.



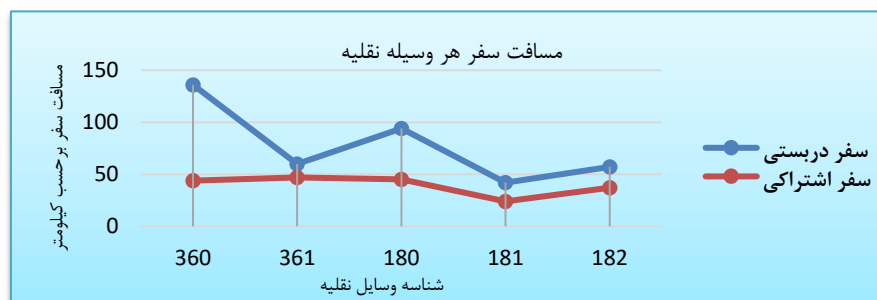
شکل ۴- مقایسه مسافت پیموده شده در دو حالت سفر تکی و اشتراکی برای هر مسافر برحسب کیلومتر

جدول ۶- مقایسه مجموع فاصله طی شده برای هر وسیله نقلیه در حالت سفر تکی و اشتراکی برحسب کیلومتر

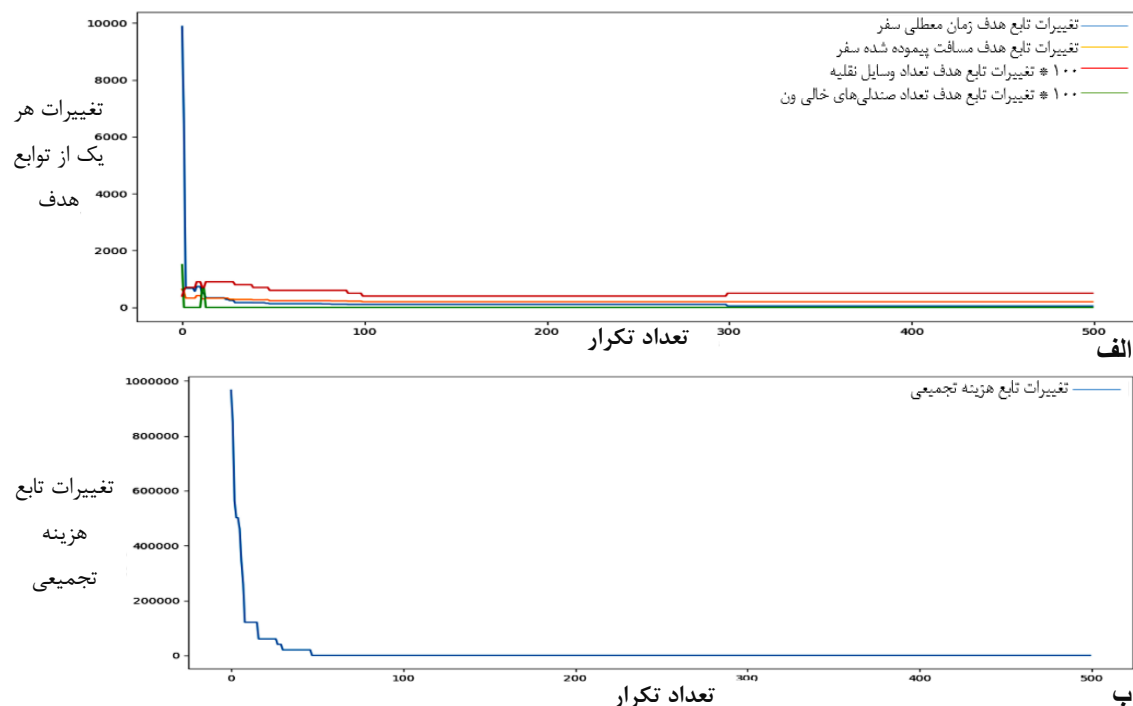
شناسه وسیله نقلیه	مجموع فاصله طی شده در سفر تکی (KM)	مجموع فاصله طی شده در سفر اشتراکی (KM)	شناسه درخواست	مسیر سفر (شماره گره‌های شبکه راه)
۳۶۱	۶۰	۴۷	۱۸، ۱۷، ۱۶، ۱۵	۳۵، ۴۲، ۴۳، ۳۶، ۳۹، ۴۵، ۴۶، ۴۰
۳۶۰	۱۳۶	۴۴	۱۴، ۱۳، ۱۲، ۱۱	۱، ۲، ۴، ۳، ۱۲، ۱۸، ۲۴، ۳۵
۱۸۰	۹۴	۴۵	۴، ۳، ۲، ۱	۱۲، ۱۳، ۱۹، ۱۸، ۳۴، ۳۵، ۴۲، ۴۱
۱۸۱	۴۲	۲۴	۸، ۷، ۶، ۵	۸، ۹، ۱۵، ۱۴، ۲۰، ۲۱، ۲۶، ۲۵
۱۸۲	۵۷	۳۷	۱۰، ۹	۱۶، ۱۷، ۲۹، ۳۳، ۳۹، ۴۵، ۴۶
فاصله کل طی شده	۳۸۱	۱۹۷	—	—

در شکل ۶ الف (تغییرات مربوط به هر یک از توابع هدف مسئله در طی ۵۰۰ دور تکرار مدل نمایش داده شده است. در این شکل به‌منظور نمایش بهتر تغییرات مربوط به توابع هدف، تعداد وسایل نقلیه و تعداد صندلی‌های خالی ون، مقادیر آن‌ها در ۱۰۰ ضرب شده است. در این شکل محور افقی بیانگر تعداد تکرارها و محور عمودی

بیانگر میزان تغییرات توابع هدف است. در شکل ۶ ب) تغییرات مربوط به تابع هدف تجمیع شده یا همان تابع بهینگی کلی مسئله نمایش داده شده است. همان‌طور که در این شکل قابل‌مشاهده است از تکرار ۱۰۰ به بعد مدل به بهینه کلی رسیده است.



شکل ۵- مجموع مسافت طی شده در حالت سفر تکی و اشتراکی توسط هر وسیله نقلیه برحسب کیلومتر



شکل ۶- الف) تغییرات تابع هدف به هر یک از توابع هدف، ب) تغییرات تابع هدف تجمیع شده در طی ۵۰۰ دور تکرار

۶- بحث

در این مقاله به مطالعه و پیاده‌سازی مدل اشتراک سواری بر پایه الگوریتم ژنتیک و با در نظر گرفتن چهار تابع هدف کمینه‌سازی زمان معطلی مسافران، مسافت کل پیموده شده در سفرها، تعداد وسایل نقلیه و تعداد صندلی‌های خالی ون و نیز در نظر گرفتن دو قید ظرفیت خودروها و قید پنجره زمانی سفر پرداخته شد.

ترکیب این توابع هدف، به هنگام پیاده‌سازی، مشکلاتی ایجاد شد. جهت حل این مشکلات و رسیدن به جوابی مناسب، دو عملگر ابتکاری در مرحله جهش در کنار عملگرهای مرسوم جایگذاری و اسکرمبل، طراحی و پیاده‌سازی شدند. اولین عملگر ابتکاری عملگر تغییر ون به تاکسی بود. هدف از ایجاد این عملگر با توجه به سناریو سوم، رفع مشکل استفاده نامناسب از ون در سناریوهای اول و دوم بود؛ زیرا ممکن بود در این دو سناریو حالتی به وجود آید که در آن‌ها از ون برای جابه‌جایی تنها دو مسافر (کمتر از نصف ظرفیت ون) استفاده شود. این عامل سبب افزایش تابع هزینه مربوط به تعداد صندلی‌های خالی ون و به تبع تابع هزینه تجمیع شده می‌شود. از این رو تحت این عملگر چنین ونی با تاکسی عوض می‌شود، به این معنا که مسافران منتسب شده به ون در یک تاکسی قرار گرفته و با آن تاکسی

سفر خود را انجام می‌دهند. دومین عملگر ابتکاری عملگر ادغام وسایل نقلیه بود. هدف از ایجاد و پیاده‌سازی این عملگر همان‌طور که در سناریو چهارم نیز بیان شد، ترکیب مسافران دو وسیله نقلیه است تا مشکل مربوط به ناقص و کم بودن تطبیق و دسته‌بندی بهینه و مناسب مسافران در سناریوهای اول و دوم را رفع نماید. این عملگر در افزایش میزان ترکیب مسافران و تشکیل حالات مختلف تطبیق و دسته‌بندی آن‌ها با یکدیگر موفق عمل کرد.

از طرفی مسئله نحوه نوبت‌دهی سوار و پیاده شدن بهینه مسافرانی که در یک گروه قرار می‌گیرند نیز به وجود می‌آید. بر این اساس دو الگوریتم جست‌وجوی محلی مبتنی بر اولویت زمانی مسافران و مبتنی بر الگوریتم ژنتیک پیاده‌سازی و اعمال گردید. دلیل استفاده از دو تابع جست‌وجوی محلی در الگوریتم پیاده‌سازی شده، این بود که الگوریتم ژنتیک محلی، میزان بار محاسباتی بالاتری نسبت به تابع جست‌وجوی محلی مبتنی بر اولویت زمان درخواست‌ها دارد، چراکه پیچیدگی‌های محاسباتی آن بالاتر است؛ بنابراین برای کاهش بار محاسباتی در الگوریتم طراحی شده تصمیم شد تا تابع ژنتیک محلی تنها بر روی بهترین کروموزوم ورودی به مرحله جهش اعمال گردیده و سایر کروموزوم‌ها تحت تابع جست‌وجوی محلی مبتنی بر اولویت زمانی درخواست‌ها قرار بگیرند. نهایتاً با استفاده از

دو عملکرد ابتکاری گفته شده و نیز دو الگوریتم جستجوی محلی نام برده، تحت سناریو پنجم الگوریتم ژنتیک توانست به جواب بهینه کلی برسد.

۷- نتیجه گیری

امروزه تاکسی نقش مهمی در سیستم حمل و نقل شهری دارند. اما به دلایل مختلفی از جمله حجم بالای مسافران و عدم استفاده مناسب از ظرفیت صندلی‌های خالی تاکسی‌ها منجر می‌شود تا مسافران زیادی قادر به گرفتن تاکسی نباشند. از طرفی تردد تاکسی‌های با تک مسافر نیز خود عاملی بر ایجاد ترافیک شهری و نیز آلودگی بیشتر هوا خواهند بود. در این مقاله ما به پیاده سازی سیستم اشتراک سواری که بتوان با استفاده از آن مشکلات مطرح شده در سیستم حمل و نقل سنتی را تا حد ممکن برطرف نمود پرداختیم.

در نتایج حاصل در جدول ۶ (جدول مربوط به مسافت طی شده توسط خودروها در دو حالت اشتراکی و غیر اشتراکی) دیده می‌شود که با استفاده از این مدل اشتراک سواری، مسافت کل پیموده شده در این حالت نسبت به حالت سفر تکی بسیار کمتر است. کاهش میزان مسافت سفر در حالت اشتراکی در کاهش میزان آلودگی ناشی از سوخت خودروها و به تبع کمک به حفظ محیط زیست سودمند است که این عامل می‌تواند منجر به ترغیب مسئولین و مدیران برنامه ریزی شهری در استفاده از این چنین سامانه‌های اشتراک سواری گردد. از طرفی تنها با استفاده از ۵ وسیله نقلیه به ۱۸ درخواست موجود که شامل ۲۶ مسافر بودند پاسخ‌دهی شد. این عامل نشان می‌دهد که به کمک چنین مدلی می‌توان با تعداد وسایل نقلیه کمتر، تعداد مسافران بیشتری را سرویس‌دهی نمود و به این ترتیب به کاهش ترافیک شهری کمک نمود.

با توجه به شکل ۴، اشتراک سواری برای بعضی از مسافران، فاصله سفر آن‌ها و به تبع زمان سفرشان را نسبت به حالت سفر تکی افزایش می‌دهد. با به کارگیری مدل‌های

قیمت دهی مناسب برای تعیین کرایه این مسافران (مانند مدل قیمت دهی ارائه شده در مقاله [۹]) می‌توان هزینه مسافران شرکت کننده در حالت سفر اشتراکی را نسبت به سفر تکی به نحوی قابل توجه کاهش داد تا مسافران به استفاده از سفر اشتراکی تشویق شوند. از طرفی حالت سفر اشتراکی برای رانندگان نیز مفید است چراکه با افزایش تعداد مسافران برای رانندگان و از طرفی کاهش مسافت کل پیموده شده در حالت اشتراکی نسبت به حالت سفر تکی، هزینه مربوط به استهلاک خودرو و هزینه ناشی از مصرف سوخت به نحوی قابل قبول کاهش می‌یابد. این به نوعی به معنای افزایش درآمد رانندگان در حالت اشتراک سواری است و به این ترتیب حالتی برد-برد برای راننده و مسافر ایجاد می‌گردد.

با توجه به نحوه مدل کردن کروموزوم در این مقاله که مشابه با تعدادی از کارها و مطالعات گذشته است و مدل‌های مذکور در مطالعات مختلف بارها مورد استفاده و بررسی قرار گرفته‌اند و حالت جامعی دارند و مدل پیاده سازی شده در این تحقیق نیز مشابه این مدل‌ها است پس می‌توان این مدل را در سایر حوزه‌های مربوط به مسائل مرتبط با مسیریابی وسایل نقلیه و ترکیب با داده‌های مختلف استفاده نمود.

به عنوان ادامه این تحقیق در مطالعات آتی می‌توان به بررسی اثر به کارگیری الگوریتم ژنتیک چندهدفه در حل مسئله و مقایسه نتایج حاصل با راهکار ارائه شده در این مقاله و نیز گسترش مدل اشتراک سواری در حالت برنامه ریزی غیر مرکزی و مدل اشتراک سواری مبتنی بر عامل، پرداخت. همچنین به عنوان پیشنهاد جهت واقعی تر شدن مدل به جای ثابت در نظر گرفتن سرعت وسایل نقلیه، با استفاده از طرح ترافیک لحظه‌ای گوگل، می‌توان سرعت لحظه‌ای وسایل نقلیه را داشت و بر این اساس برنامه ریزی سرویس‌دهی به مسافرها را به صورت واقعی تر انجام داد.

مراجع

- [1] M. Nourinejad, "Dynamic optimization models for ridesharing and carsharing," University of Toronto, 2014.
- [2] M. I. Hosny and C. L. Mumford, "Investigating genetic algorithms for solving the multiple vehicle pickup and delivery problem with time windows," in MIC2009, Metaheuristic International Conference, 2009.

- [3] Y. Lin, W. Li, F. Qiu, and H. Xu, "Research on optimization of vehicle routing problem for ride-sharing taxi," *Procedia-Social and Behavioral Sciences*, vol. 43, pp. 494-502, 2012.
- [4] C. Ma, R. He, and W. Zhang, "Path optimization of taxi carpooling," *PLoS One*, vol. 13, no. 8, p. e0203221, 2018.
- [5] W. M. Herbawi and M. Weber, "A genetic and insertion heuristic algorithm for solving the dynamic ridematching problem with time windows," in *Proceedings of the 14th annual conference on Genetic and evolutionary computation*, pp. 385-392, 2012.
- [6] Lz. Wang, "Discussion on static and dynamic sharing mode of taxis in big cities". Master Dissertation of Changsha University of Science&Technology, 2012.
- [7] L. Rayle, D. Dai, N. Chan, R. Cervero, and S. Shaheen, "Just a better taxi? A survey-based comparison of taxis, transit, and ridesourcing services in San Francisco," *Transport Policy*, vol. 45, pp. 168-178, 2016.
- [8] Q. Ye, C. Ma, R. He, Q. Xiao, and W. Zhang, "Multi-objective optimisation for taxi ridesharing route based on non-dominated sorting genetic algorithm," *International Journal of Wireless and Mobile Computing*, vol. 8, no. 3, pp. 262-270, 2015.
- [9] W. Zhang, R. He, Y. Chen, M. Gao, and C. Ma, "Research on Taxi Pricing Model and Optimization for Carpooling Detour Problem," *Journal of Advanced Transportation*, vol. 2019, 2019.
- [10] J. Žak, M. Hojda, and G. Filcek, "Multiple criteria optimization of the carpooling problem," *Transportation Research Procedia*, vol. 37, pp. 139-146, 2019.
- [11] Z. S. Zou XD, Ban XG, Lian XM,, "Optimal path algorithm for road network with traffic capacity limits," *Journal of Highway and Transportation Research Development*, 2002.
- [12] G.-q. Pan, "Study on Taxi Carpooling Based on City Gridding," *Value Engineering*, vol. 2013, no. 14, p. 14, 2013.
- [13] X. Zhang, Q. Zhang, Z. Yuan, C. Wang, and L. Zhang, "The Research on Planning of Taxi Sharing Route and Sharing Expenses," *Mathematical Problems in Engineering*, vol. 2, 2020
- [14] S. Rangriz, M. Davoodi, and J. Saberian, "A NOVEL APPROACH TO OPTIMIZE THE RIDESHARING PROBLEM USING GENETIC ALGORITHM," *International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing & Spatial Information Sciences*, 2019.
- [15] S.-C. Huang, M.-K. Jiau, and Y.-P. Liu, "An ant path-oriented carpooling allocation approach to optimize the carpool service problem with time windows," *IEEE Systems Journal*, vol. 13, no. 1, pp. 994-1005, 2018.
- [16] B. Shen, B. Cao, Y. Zhao, H. Zuo, W. Zheng, and Y. Huang, "Roo: Route Planning Algorithm for Ride Sharing Systems on Large-Scale Road Networks," in *2019 IEEE International Conference on Big Data and Smart Computing (BigComp)*, 2019, pp. 1-8: IEEE.
- [17] Z.-M. Huang, W.-N. Chen, W. Shi, and X.-M. Hu, "Ant Colony System for Carpool Service Problem with High Seating Capacity," in *International Conference on Neural Information Processing*, 2019, pp. 733-740: Springer.
- [18] N. Ma, Z. Zeng, Y. Wang, and J. Xu, "Balanced strategy based on environment and user benefit-oriented carpooling service mode for commuting trips," *Transportation*, pp. 1-26, 2020.
- [19] G. Pankratz, "A grouping genetic algorithm for the pickup and delivery problem with time windows", *Or Spectru*, p. 21-41, 2005.
- [20] W.R.Jih, J.Y.-J. Hsu, "A family competition genetic algorithm for the pickup and delivery problems with time window", *Bulletin of the College of Engineering*, (NTU 90: 89-98), 2004.
- [21] R.W. Floyd, "Algorithm 97: shortest path", *Communications of the ACM*, 5(6): p. 345, 1962.
- [22] Eiben, A.E., E. Marchiori, and V. Valko. Evolutionary algorithms with on-the-fly population size adjustment. in *International Conference on Parallel Problem Solving from Nature*. 2004. Springer.
- [23] A. E. Eiben and J. E. Smith, "Introduction to evolutionary computing", Springer, 2003.
- [24] H. C. Chen YT, "Improve the carpooling applications with using a social community based travel cost reduction mechanism," *International Journal of Social Science and Humanity*, 2013.
- [25] C. García-Martínez and M. Lozano, "Local search based on genetic algorithms," in *Advances in metaheuristics for hard optimization*: Springer, pp. 199-221, 2007.