

حل مسأله به اشتراک‌گذاری تاکسی‌های با ظرفیت مختلف با استفاده از الگوریتم ژنتیک ارتقاء یافته و اولویت‌های اجتماعی کاربران

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

۱- دانشجوی کارشناسی ارشد گروه سیستم‌های اطلاعات مکانی، دانشکده مهندسی نقشه برداری، دانشگاه صنعتی خواجه نصیر طوسی
۲- دانشیار گروه سیستم‌های اطلاعات مکانی، دانشکده مهندسی نقشه برداری، دانشگاه صنعتی خواجه نصیر طوسی

تاریخ دریافت مقاله: ۱۳۹۹/۰۲/۱۳ تاریخ پذیرش مقاله: ۱۳۹۹/۱۱/۰۷

چکیده

اکثر سیستم‌های اشتراک سواری موجود، برنامه‌ریزی سفر را تنها بر اساس دو معیار شباهت مکانی و زمانی سفر مسافران انجام می‌دهند. بی‌توجهی به اولویت‌های اجتماعی منجر به کاهش تمایل کاربران در استفاده از سرویس‌های اشتراک سواری می‌شود. باید سامانه‌ای ایجاد گردد که هر ۳ معیار گفته شده را در برنامه‌ریزی سفر در نظر بگیرد تا بتوان کاربران را به استفاده هر چه بیشتر از این سامانه‌ها ترغیب نمود. هدف از این پژوهش طراحی و پیاده‌سازی مدلی مناسب، برای اشتراک سواری با به‌کارگیری تاکسی‌های با ظرفیت مختلف و در نظر گرفتن اولویت‌های اجتماعی کاربران با استفاده از الگوریتم ژنتیک ارتقا یافته است. در این پژوهش از دو عملگر جهش ابتکاری و دو الگوریتم جست‌وجوی محلی ابتکاری به منظور ارتقا الگوریتم ژنتیک برای این حالت خاص استفاده شده است. در مدل استفاده شده در این پژوهش، مکانیسمی طراحی شده تا کاربران بتوانند بازخوردی از سفر اشتراکی خود را در یک شبکه اجتماعی فرضی با سایر کاربران به اشتراک بگذارند. سپس تأثیر نظر کاربران بر یکدیگر در جهت استفاده و یا عدم استفاده از این سامانه و علت آن تحلیل و بررسی شد. نتایج به‌دست‌آمده حاکی از کارایی روش پیشنهادی دارد؛ زیرا در پایان اجرای الگوریتم میزان علاقه کاربران به استفاده از این سیستم افزایش یافت که دلیلی بر تأمین اولویت‌های اجتماعی کاربران است. به طور مثال هر یک از مسافران با شرکت در اشتراک سواری به طور میانگین ۲۶ درصد در هزینه سفر خود صرفه جویی کرده‌اند. همچنین درآمد هر یک از رانندگان نیز با شرکت در اشتراک سواری به طور میانگین ۴۸ درصد افزایش یافته است. از طرفی مسافت کل سفرها به میزان ۴۰ درصد نسبت به حالت سفر تکی کاهش یافت و نیز تعداد خودروهای استفاده‌شده در حالت سفر اشتراکی کمتر از حالت سفر تکی بود که این امر در کاهش ترافیک و آلودگی هوای ناشی از مصرف سوخت خودروها مؤثر خواهد بود.

کلیدواژه‌ها: اولویت‌های اجتماعی کاربران، الگوریتم ژنتیک ارتقا یافته، عملگرهای جهش ابتکاری، مکانیسم اشتراک بازخورد سفر، شبکه اجتماعی کاربران

* نویسنده مکاتبه کننده: تهران، دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی، دانشکده مهندسی نقشه‌برداری، گروه سیستم‌های اطلاعات مکانی

تلفن: ۰۹۳۵۷۵۳۴۸۵۲

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 است که باعث اتلاف هزینه، زمان و سوخت زیادی می‌گردد. در بسیاری از کشورها از جمله ایران درصد بالایی از خودروهای عبوری در خیابان‌ها، تک‌سرنشین هستند که خود منجر به ترافیک و شلوغی می‌شوند، از طرفی تاکسی‌هایی که مسافران را به صورت تکی و دربستی در سطح شهر جابه‌جا می‌کنند نیز خود عامل دیگری برای افزایش شلوغی و ترافیک خواهند بود. مسأله اشتراک سواری، به این صورت است که آن دسته از مسافرانی که به لحاظ مبدأ، مقصد و زمان سفر، به یکدیگر شبیه هستند، بتواند با استفاده از یک وسیله نقلیه و با صرف هزینه کمتر سفر خود را انجام دهند [۱].

اشتراک سواری به‌طور کل به دو بخش تقسیم می‌شود: بخش اول گروه‌بندی، به تطبیق 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) سفر به یکدیگر شباهت دارند می‌پردازد. بخش دوم آن به نحوه نوبت‌دهی، سوار و پیاده شدن مسافران یک گروه پرداخته و به‌نوعی کار مسیریابی را انجام می‌دهد [۲]. سیستم‌های اشتراک سواری بسیاری که گروه‌بندی را فقط بر مبنای شباهت در بعد مکان و زمان سفر انجام می‌دهند، پیاده‌سازی شده‌اند. در این سامانه‌ها مسافران و رانندگان هیچ نقشی در تعیین هم‌سفران خود ندارند و تنها سرور مرکزی برنامه‌ریزی سفرها را انجام می‌دهد. لذا کاربران اطلاعات کمی از یکدیگر خواهند داشت و این موضوع سبب کاهش سطح اعتماد در استفاده از این سیستم می‌شود [۳].

بی‌توجهی به عوامل اجتماعی (مانند اعتمادپذیری، راحتی و آسایش در سفر) و منفعت مالی و زمانی راننده و مسافر، منجر به کاهش تمایل کاربران در استفاده از این سرویس‌ها می‌شود [۴]. این سامانه‌ها زمانی در جلب

رضایت کاربران و افزایش علاقه آن‌ها به اشتراک سواری موفق عمل خواهند کرد، که نه‌تنها به لحاظ مالی و زمانی بلکه از لحاظ راحتی و آسایش در سفر و اعتمادپذیری نیز نیاز آن‌ها را برآورده کنند [۵]. در این خصوص یک راهکار مؤثر در نظر گرفتن اولویت‌ها و علایق کاربران در گروه‌بندی آن‌ها است.

در این پژوهش مدلی بر مبنای الگوریتم ژنتیک مبتنی بر اولویت‌های کاربران طراحی و پیاده‌سازی گردید. در این مدل یک سیستم ثبت‌نام فرضی تعیبه شده است که کاربران (مسافران) اطلاعات و اولویت‌های موردنظر خود برای سفرشان را وارد می‌کنند و بر اساس فاکتورهای واردشده، برنامه‌ریزی سفر برای آن‌ها صورت می‌گیرد. همچنین یک شبکه اجتماعی فرضی در نظر گرفته شده است که در آن کاربران با یکدیگر در ارتباط بوده و نظرات و تجربیات خود از سفر اشتراکی که داشته‌اند را با دیگران به اشتراک می‌گذارند. هدف از این کار بررسی تأثیر نظر کاربران روی یکدیگر در جهت افزایش یا کاهش استفاده از سیستم اشتراک سواری و بررسی دلایل رضایت یا عدم رضایت مسافران است. به طور کل در این پژوهش سعی شد تا یک ارتباط معنادار و درعین حال ساده بین دو حوزه مسائل اجتماعی و الگوریتم‌های فرا ابتکاری ایجاد شود. از طرفی با توجه به اینکه هدف اصلی این پژوهش بررسی کامل و جامع مسائل انسانی و روابط اجتماعی نیست؛ لذا، ساده‌سازی‌هایی جهت مدل کردن روابط و نحوه تأثیرگذاری افراد بر یکدیگر به‌منظور استفاده یا عدم استفاده از یک سیستم اعمال شده است.

در مقاله حاضر هدف پیاده‌سازی سیستم اشتراک سواری است که به نحوی باشد تا مباحث اجتماعی اقتصادی و محیطی مطرح‌شده را در برگیرد، به این معنا که بتواند مسافرانی را با یکدیگر هم‌سفر نماید که شباهت بیشتری به لحاظ پارامترهای اجتماعی با یکدیگر داشته تا مسافران به لحاظ بحث راحتی و اعتمادپذیری در سفر نیازشان تأمین گردد و از طرفی هزینه این دسته از مسافران نسبت به حالتی که

توان و قدرت پردازشی بالا است. به دلیل عدم دسترسی نویسندگان مقاله به چنین سیستم‌هایی و به‌منظور کم کردن زمان تست و ارزیابی مدل ارائه‌شده، ایشان به سمت استفاده از داده‌های شبیه‌سازی و ساده‌شده‌ای سوق پیدا کردند.

ساختار مقاله حاضر به این شرح است: در بخش دوم به مروری بر پژوهش‌های گذشته، در بخش سوم مراحل طراحی و مدل‌سازی مسأله با الگوریتم ژنتیک مبتنی بر اولویت‌های کاربران و در بخش چهارم پیاده‌سازی و ارزیابی مدل ارائه شده‌اند. نهایتاً در بخش پنجم به بحث و نتیجه‌گیری نهایی پرداخته شده است.

۲- مروری بر پژوهش‌های پیشین

به‌طور کل سیستم‌های اشتراک سواری به دودسته تقسیم می‌شوند. سیستم‌های مبتنی بر برنامه‌ریزی متمرکز، سامانه‌هایی هستند که تنها یک سرور مرکزی و بدون در نظر گرفتن اولویت‌های کاربران، آن‌ها را با یکدیگر گروه‌بندی می‌کند. از طرفی سیستم‌های مبتنی بر برنامه‌ریزی غیرمتمرکز، سامانه‌هایی هستند که به کاربران خود آزادی عمل بیشتری داده و به اولویت‌های آن‌ها در گروه‌بندی‌شان توجه می‌کند.

۲-۱- سیستم‌های اشتراک سواری مبتنی بر

برنامه‌ریزی متمرکز

وبر و هرباوی با در نظر گرفتن کمینه‌سازی مسافت کل سفر، زمان سفر راننده، زمان سفر مسافران و نیز بیشینه‌سازی سرویس‌دهی به مسافران به‌عنوان توابع هدف به حل مسأله با استفاده از الگوریتم کلونی مورچگان و الگوریتم ژنتیک پرداختند؛ و به این نتیجه رسیدند که الگوریتم ژنتیک عملکرد بهتری دارد [۸]. لین و همکاران از الگوریتم تبرید شبیه‌سازی شده جهت بهینه‌سازی مسأله اشتراک سواری استفاده کردند و کمینه کردن هزینه‌هایی چون حمل‌ونقل، هزینه‌های نگهداری و تعمیر خودرو و بیشینه شدن سطح رضایت کاربران بر اساس زمان سفرشان را به‌عنوان توابع هدف در نظر گرفتند [۶]. کینگ یه و همکاران در سال ۲۰۱۵ با استفاده از الگوریتم ژنتیک چند هدفه، به حل این

دربستی و تکی سفر نمایند را کمتر کند و همچنین در خصوص بحث زمان سفر به‌گونه‌ای باشد که میزان معطلی در سفر اشتراکی را برای مسافران تا حد ممکن کمینه نماید تا مسافران به لحاظ منفعت مالی و زمانی نیز به استفاده از این سرویس‌ها ترغیب شوند. از لحاظ پارامترهای محیطی نیز بتواند با کاهش تعداد خودروهای استفاده‌شده در سرویس‌دهی به مسافران از بار ترافیکی شهر کم کرده و با کاهش مسافت کل سفرها نیز به کاهش مصرف سوخت و به سبب آن کاهش آلودگی هوا کمک نماید. راهکار ارائه شده یک روش پیشنهادی اولیه‌ای است که قطعاً نیاز به تکامل بیشتر، دخیل کردن فاکتورهای متنوع دیگر و نیز مطالعات گسترده در حوزه مسائل و شبکه‌های اجتماعی جهت واقعی‌تر شدن مدل پیشنهادی این مقاله دارد.

شایان ذکر است متدولوژی به‌کاررفته در این مقاله بر اساس ترکیبی از روش‌های بهینه‌سازی فرا ابتکاری (در این مقاله از الگوریتم ژنتیک برای این منظور استفاده شده است) و روش‌های عامل مبنا (جهت مدل کردن رفتار مسافران در خصوص نحوه استفاده از سیستم اشتراک سواری و تعیین بازخورد آن‌ها از سیستم) است. به همین جهت نویسندگان مقاله نیازمند به کارگیری یکسری از روش‌ها و عملگرهای ابتکاری مطابق با آنچه در ادامه مقاله ذکر خواهد شد، بودند تا بتوانند به جواب مطلوب دست پیدا کنند. از طرفی برای حصول اطمینان از کارایی روش‌های ابتکاری ارائه‌شده در این مقاله، داده‌های مسأله به نحوی شبیه‌سازی و ساده‌سازی شدند تا بتوان خروجی و جواب مطلوب را قبل از اجرای الگوریتم دانست و الگوریتم را به نحوی طراحی نمود که بتواند به جواب مطلوب دست پیدا کند. همچنین تست و ارزیابی این روش‌ها با توجه به ماهیت مسأله که مسأله‌ای ان‌پی‌سخت^۱ با پیچیدگی زمانی بالا به لحاظ زمان اجرا و پردازش می‌باشد نیازمند به کارگیری سیستم‌های با

^۱ NP-Hard Problem

مسئله پرداختند. توابع هدف مسأله 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 [۱۱]. زک و همکاران در سال ۲۰۱۹ مدل ریاضی اشتراک سواری شامل دو بخش مسیریابی و تطابق شرکت‌کنندگان (رانندگان و مسافران) را پیاده‌سازی نمودند. این مدل شامل دو الگوریتم ژنتیک چندهدفه و جست‌وجوی پرتو نور (LBS)^۱ بود، که به منظور آنالیز جواب تولیدشده از الگوریتم ژنتیک و بهبود آن به کار رفته است [۱۲]. در سال ۲۰۱۳ Pan در زمینه اشتراک سواری و باهدف کمینه کردن فاصله، زمان و هزینه سفر، با تعریف یکسری ضرایب برای هر یک از آن‌ها، مسأله چند هدفه را به یک مسأله تک هدفه تبدیل و مدلی را بر این اساس پیاده‌سازی نمود [۱۳]. در سال ۲۰۱۸ Ma و همکاران مدلی را بر اساس الگوریتم ژنتیک چندهدفه و نیز الگوریتم ژنتیک تک هدفه، در یک شبکه راه فرضی با هدف کمینه کردن مسافت کل پیموده شده سفرها و زمان سفر مسافران تحت قیودی چون کمتر شدن هزینه پرداختی مسافر، افزایش درآمد رانندگان، رضایت‌مندی مسافران بر اساس زمان سفرشان در حالت اشتراکی پیاده‌سازی کردند [۷].

۲-۲- سیستم‌های اشتراک سواری مبتنی بر برنامه‌ریزی غیرمتمرکز (مبتنی بر اولویت‌های کاربران)

تمرکز مطالعات مروری بخش ۲-۱ بر ارتقای کیفیت گروه‌بندی مسافران و رانندگان بر مبنای قیود مکانی و زمانی بوده است. در این بخش به مروری بر سیستم‌های اشتراک سواری که جنبه‌های اجتماعی و اولویت‌های کاربران را نیز در نظر گرفته‌اند پرداخته شده است.

سیستم آی کپ^۲، در این خصوص راهکاری را بر مبنای

^۱ Light Beam Search

^۲ ICAP

اولویت‌های کاربران ارائه داد. در این سیستم پارامترهایی مانند سیگار و جنسیت و نیز پارامترهای مرتبط با سرویس ارائه‌دهنده خدمات مانند میزان اهمیت زمان و هزینه سفر را که منجر به افزایش درجه آزادی و اعتمادپذیری سیستم برای کاربر می‌شود را در نظر گرفتند [۱۴]. برلین گو و همکاران در سال ۲۰۱۷ مدلی مبتنی بر علائق و اولویت‌های مردم برای اشتراک سواری ایجاد کردند که در آن مردم غریبه بر اساس علائق مشترک و شباهتی که با یکدیگر دارند، در یک گروه قرار گرفته و می‌توانند سفری را باهم داشته باشند [۱۵]. در تحقیقی دیگر، مدلی باهدف افزایش تمایل کاربران در اشتراک‌گذاری سفر و بر مبنای اولویت‌ها و علائق مشترک و شغل و میزان تحصیلات و درآمد و لینک‌های اجتماعی پیاده‌سازی شد. در این مدل لیست پیشنهادی مرتب‌شده‌ای از سفرها بر اساس افزایش میزان علاقه کاربر به اشتراک‌گذاری سفر با آن گروه‌ها به کاربر پیشنهاد شده و کاربر می‌توانست موردی را انتخاب کند [۴]. کوریا و همکاران [۱۶]، به بررسی اهمیت و نقش پارامترهایی چون جنسیت و سن پرداختند و در تحقیقی دیگر، نیز به این نتیجه رسیدند که چنین فاکتورهایی نقشی اساسی در تمایل افراد به اشتراک‌گذاری سفر دارند [۱۷]. در تحقیقی لسمار و همکاران، ابتدا خصوصیات و ویژگی‌های کاربران و تعیین میزان شباهت آن‌ها با یکدیگر از طریق بررسی پست‌ها و کامنت‌های به اشتراک گذاشته‌شده در اکانت‌های اجتماعی‌شان استخراج گردید. سپس سیستم توصیه‌گری پیاده‌سازی شد که به یک کاربر بر اساس تجربیات و انتخاب‌های گذشته خود و افرادی که به او شباهت دارند، لیست مرتب‌شده‌ای از سفرهای اشتراکی از بالاترین تا کمترین میزان شباهت را به او پیشنهاد می‌داد [۱۸]. نشر و همکاران در سال ۲۰۱۸، مدلی مبنی بر اولویت‌ها و خصوصیات راننده و مسافر بر اساس روش تصمیم‌گیری چند معیاره پیاده‌سازی کردند. در این روش کاربران در سامانه ثبت‌نام کرده و اطلاعات و اولویت‌های خود را وارد کرده و وزن دهی

متوسط واحد در نظر گرفته شده است.

۷. راننده وسیله نقلیه کوتاه‌ترین مسیر بین ایستگاه‌های مبدأ و مقصد را طی می‌کند. کوتاه‌ترین مسیر بین ایستگاه‌ها بر اساس الگوریتم فلوید وارشال^۱ محاسبه شده است [۲۰].

۸. 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.

۳-۲- بخش‌های مختلف در نظر گرفته شده برای

سیستم اشتراک سواری پیشنهادی

سیستم اشتراک سواری پیشنهادی در این مقاله بر اساس ترکیبی از روش بهینه‌سازی الگوریتم ژنتیک با روش شبیه‌سازی عامل مبنا است. در این سیستم مسافران به‌عنوان عامل‌هایی دارای اختیار در انتخاب نوع سرویس خود (درستی یا اشتراکی) و نیز تعیین دیگر پارامترهای مورد انتظارشان از سفر با ارسال درخواست خود به سرور مرکزی، این سرور بر اساس اطلاعات ورودی برای آن‌ها سرویسی را اختصاص خواهد داد. در مدل‌سازی با این روش لازم است تا در مراحل تست و ارزیابی مدل، مقادیری برای پارامترهای ورودی که کاربر باید به هنگام درخواست سفر تعیین کند به سیستم معرفی گردد؛ لذا در این مدل‌ها سعی می‌شود تا با انتخاب مقادیری تصادفی، قدرت انتخابی که مسافران در دنیای واقعی دارند را بتوان شبیه‌سازی نمود. در ادامه بخش‌های مختلف سیستم اشتراک سواری پیشنهادی آورده شده است. در فلوچارت شکل (۱) روند الگوریتم طراحی شده در این مقاله قابل ملاحظه است.

¹ Floyd warshall

می‌کنند. سپس برای هر مسافر لیستی از رانندگان بر اساس میزان شباهت در اولویت‌ها و نزدیکی مکانی و زمانی به دست آمده نهایتاً بهترین راننده استخراج شده و به آن مسافر نسبت داده می‌شود [۱۹].

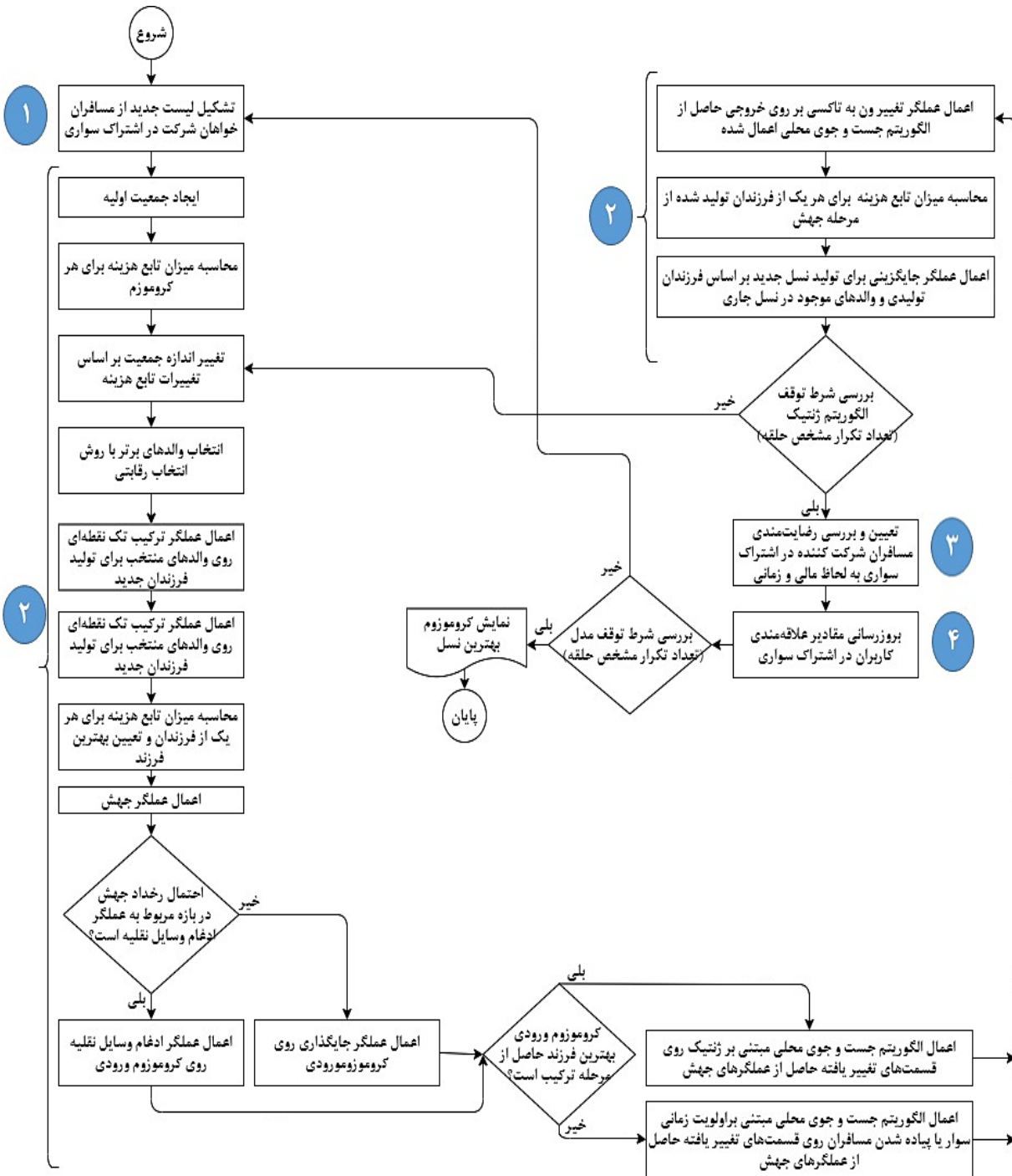
در اشتراک سواری به صورت غیرمتمرکز در کمتر مطالعاتی از قدرت ذاتی الگوریتم‌های فرا ابتکاری در حل مسأله استفاده کرده‌اند، لذا در مقاله پیش‌رو مدل پیاده‌سازی شده بر مبنای الگوریتم ژنتیک مبتنی بر اولویت‌های کاربران طراحی و پیاده‌سازی شده است.

۳- طراحی و مدل‌سازی مسأله بهینه‌سازی اشتراک سواری مبتنی بر اولویت‌های اجتماعی کاربران

در این بخش بعد از بیان فرض‌های مسأله به بیان فازهای مختلف پیاده‌سازی شده جهت ایجاد مدل اشتراک سواری مورد نظر پرداخته شده است.

۳-۱- فرض‌های مسأله

- هر درخواست سفر می‌تواند شامل ۱ تا چند مسافر باشد.
- برای هر مسافر میزان تمایل اولیه به اشتراک‌گذاری سفر در نظر گرفته شده است.
- یک گراف که ارتباط میان افراد در شبکه اجتماعی فرضی یادشده را نشان می‌دهد در نظر گرفته‌ایم.
- در گراف ارتباطی برای هر ارتباط (یال متصل بین دو کاربر موجود در شبکه) وزنی تصادفی که مقادیر ۱، ۲ یا ۳ را دارد در نظر گرفته شده است. این وزن درجه ارتباط و میزان نزدیکی بین دو کاربر را تعریف می‌کند. میزان نزدیکی به سه دسته خانواده (وزن برابر با ۳، بیشترین میزان نزدیکی و ارتباط)، دوست (وزن برابر با ۲) و دوست دوست (وزن برابر با ۱، کمترین میزان نزدیکی و ارتباط) تقسیم شده است.
- مسافران در طول سفر خود تنها با یک وسیله نقلیه سفر را انجام می‌دهند.
- سرعت وسایل نقلیه ثابت و برابر با یک سرعت



شکل ۱: فلوچارت الگوریتم طراحی شده

۳-۲-۱- تشکیل لیست مسافران منتخب و انجام برنامه‌ریزی سفر برای آن‌ها با الگوریتم ژنتیک در بخش ۳-۲-۱ به توضیح قسمت‌های اول و دوم

الگوریتم یاد شده در شکل (۱) پرداخته شده است. در این مدل فرض بر وجود یک بخش ثبت‌نام در سامانه اشتراک سواری است که ابتدا مسافران طبق جدول (۱)

افراد میان‌سال و از ۳۵ تا ۵۰ سال و o نماینده رده سنی کهن‌سال فرض شده است. در این جدول در ستون اطلاعات پروفایل، کاربر نسبت به ویژگی‌های تعریف‌شده وضعیت خود و در ستون بعدی لیست اولویت‌ها، کاربر ویژگی‌های مورد انتظار خود از هم‌سفرانش را تعیین می‌کند. هر درخواست سفر مطابق با جدول (۲) شامل موقعیت مبدأ و مقصد (شماره گره در شبکه راه)، زمان مورد انتظار مسافر برای شروع و پایان سفر، پنجره زمانی مورد تأیید کاربر (در این مدل برای هر کاربر پنجره زمانی ۱۰ دقیقه‌ای در نظر گرفته شد) و تعداد مسافران منتسب به یک درخواست است.

اطلاعات شخصی خود شامل جنسیت، رده سنی و وضعیت سیگاری بودن یا نبودن را در زیر بخش اطلاعات پروفایل و نیز اولویت‌های موردنظرشان در خصوص همین معیارها در زیر بخش اطلاعات لیست اولویت‌ها مشخص می‌نمایند و نیز برای هر یک از این اولویت‌ها وزنی اختصاص می‌دهند. به این ترتیب ثبت‌نام در سامانه انجام می‌شود. حال نوبت به ثبت درخواست سفر است برای این منظور کاربران اطلاعاتی مشابه آنچه در جدول (۲) آمده است را در سامانه ثبت می‌کند. در جدول (۱)، M نماینده جنسیت مرد و F نماینده جنسیت زن است. در ستون رده سنی y نماینده رده سنی جوان و از ۱۸ تا ۳۵ سال، m نماینده

جدول ۱: اطلاعات شخصی و اولویت‌های اجتماعی کاربران

وزن هر یک از اولویت‌ها			اطلاعات لیست اولویت‌ها			اطلاعات پروفایل			شناسه کاربر
WA	WS	WG	رده سنی	استعمال دخانیات	جنسیت	رده سنی	استعمال دخانیات	جنسیت	
۵	۸	۵	$[y,m]$	yes	M	y	no	M	۱
...
۵	۷	۷	$[y,m]$	no	M	m	yes	M	۱۸

جدول ۲: اطلاعات رزرو سرویس اشتراک سواری

تعداد مسافرین هر درخواست	زمان مورد انتظار برای رسیدن به مقصد	زمان مورد انتظار برای حرکت از مبدأ	شناسه گره مقصد	شناسه گره مبدأ	شناسه درخواست
۱	۴۰:۷	۰۰:۷	۳۴	۱۲	۱
...
۲	۲۲:۹	۴۸:۸	۴۰	۳۶	۱۸

روش ترکیبی بهینه‌سازی عامل مبنا است. لذا در اجرای تست و ارزیابی مدل، برای هر کاربر ثبت‌نام‌شده در سامانه میزان تمایل اولیه تصادفی (عددی بین صفر و یک)، در اشتراک‌گذاری سفر در نظر گرفته شده است. عدد یک یعنی کاربر کاملاً تمایل به شرکت در اشتراک‌گذاری سفر دارد و صفر یعنی کاربر تمایلی در به اشتراک‌گذاری سفر خود با دیگران ندارد. به‌منظور

یکی از پارامترهای مهم که در دنیای واقعی برای اشتراک‌گذاری سفر مطرح می‌شود میزان تمایل برای به اشتراک‌گذاری سفر است. در واقع ممکن است یک مسافر تمایل کمی برای اشتراک سفر داشته باشد و یا یک مسافر تمایل زیادی برای اشتراک‌گذاری سفر خود داشته باشد. همان‌طور که در بخش ۳-۲ اشاره شد سیستم اشتراک سواری پیشنهادی در این مقاله یک

گرفته می‌شود. دلیل 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 به‌ویژه در ساعات شلوغی کاسته شود.

• کمینه کردن تعداد صندلی‌های خالی در ون

کمینه کردن تعداد وسایل نقلیه استفاده شده، به‌نوعی سبب کاهش تعداد صندلی‌های خالی می‌شود؛ اما در حالت استفاده از ون، کمینه کردن این تعداد وسایل نقلیه الزاماً در کاهش تعداد صندلی‌های خالی ون مؤثر نخواهد بود. به‌عبارت‌دیگر 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. از این‌رو تعداد صندلی‌های خالی ون با توجه به درخواست‌هایی که به آن منتسب شده‌اند شمارش شده و به ازای هر صندلی خالی مقدار هزینه‌ای به مدل اضافه می‌شود. حال الگوریتم سعی دارد تا حد ممکن از ون در حالتی استفاده کند که مسافران بیشتری را سرویس‌دهی نماید.

۳-۲-۱-۲- قیود در نظر گرفته شده در مدل

در مدل پیاده‌سازی شده از سه قید ظرفیت وسایل نقلیه، پنجره زمانی برابر با $[10, -10]$ دقیقه‌ای و عدم شباهت کاربران استفاده شده است. قیود ظرفیت خودرو و پنجره زمانی از قیود مرسوم هستند که در حل چنین مسائلی حتماً باید در نظر گرفته شوند. در خصوص پارامتر پنجره زمانی با توجه به آنچه در بخش ۳-۲ بیان شد، ما در اجرای تست و ارزیابی مدل، برای هر مسافر پنجره زمانی ثابتی را در نظر گرفتیم.

قید سوم این مدل یا به عبارتی همان قید عدم شباهت میان مسافران هم‌گروه است. میزان نقض شدگی این قید بر اساس لیست اولویت‌های اجتماعی مورد انتظار مسافران هم‌گروه بررسی می‌شود که از رابطه (۱) قابل محاسبه است. از این رابطه برای بررسی میزان نقض شدگی اولویت‌های هر مسافر در مقایسه با

تشکیل لیست مسافران منتخب، برای هر مسافر یک عدد تصادفی بین صفر و یک تولید شده و اگر این عدد تولیدی از عدد تمایل آن مسافر کمتر بود، مسافر در لیست منتخب برای سفر اشتراکی قرار می‌گیرد. لازم به ذکر است تنها برای مسافران موجود در این لیست برنامه‌ریزی سفر شامل گروه‌بندی و نحوه نوبت‌دهی جهت سوار و پیاده شدنشان، با الگوریتم ژنتیک انجام می‌شود که جزئیات این الگوریتم در ادامه به‌طور کامل بیان می‌شود.

۳-۲-۱-۱- توابع هدف مسأله

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

• کمینه کردن زمان معطلی مسافران

ابتدا اختلاف‌زمان واقعی و زمان ایدئال برای هر مسافر در آغاز و پایان سفرش محاسبه شده نهایتاً این مقادیر با یکدیگر جمع شده و به‌عنوان میزان هزینه زمانی وارد شده به الگوریتم در نظر گرفته می‌شود که هدف از این تابع این است که الگوریتم را به سمتی هدایت کند که جواب تولیدی آن میزان هزینه زمانی گفته شده را کمینه کند. در فرض ششم، یک سرعت متوسط ثابت برای تمامی خودروها لحاظ شد. لذا، کمینه کردن مدت‌زمان واقعی کل سفرها مساوی خواهد بود باهدف دوم که کمینه کردن فاصله طی شده برای مجموع سفرها است.

• کمینه کردن فاصله طی شده برای مجموع سفرها

هدف این است که گروه‌بندی و نحوه نوبت‌دهی سوار و پیاده شدن مسافران به شکلی باشد که مسافت کل پیموده شده در تمامی سفرها کمینه شود. به این ترتیب می‌توان به کاهش مصرف سوخت و کاهش آلودگی هوا کمک نمود.

• کمینه کردن تعداد وسایل نقلیه استفاده شده

تنها تعداد وسایل نقلیه به‌کاررفته شمارش شده و عدد به‌دست‌آمده به‌عنوان هزینه این تابع هدف در نظر

میان مسافران در نظر گرفته شده است.

۳-۲-۱-۳- الگوریتم ژنتیک تک هدفه

ذات مسأله اشتراک سواری چند هدفه است اما به دلیل پیچیدگی‌های مربوط به جنبه‌های جواب و مفاهیم پرتو و غیره در این تحقیق از این روش استفاده نشد. از این رو در این مقاله از روش تک هدفه یا به عبارتی تجمیع چند تابع هدف در قالب یک رابطه خطی وزنی بهره گرفته شد.

• مدل کردن فضای واقعی مسأله در قالب

کروموزوم

ابتدا جدولی از اطلاعات مربوط به درخواست سفر تهیه گردید؛ که شمایی از آن در جدول (۱) نمایش داده شد. هر درخواست سفر شامل موقعیت مبدأ و مقصد (شماره گره در شبکه راه)، زمان مورد انتظار مسافر برای شروع و پایان سفر، پنجره زمانی مورد تأیید کاربر (در این مدل برای هر کاربر پنجره زمانی ۱۰ دقیقه‌ای در نظر گرفته شد) و تعداد مسافران منتسب به یک درخواست است.

• نحوه ساخت کروموزوم

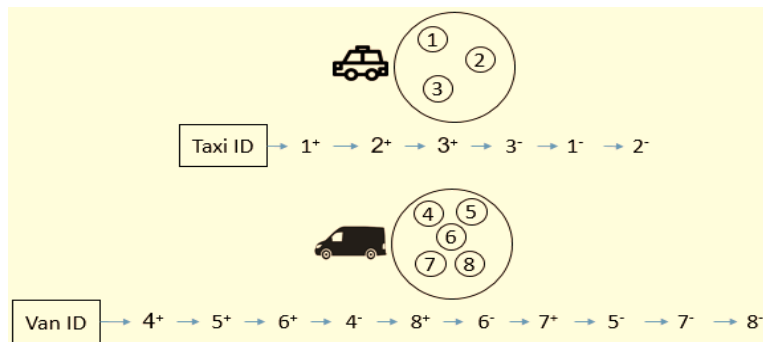
یک راهکار تشکیل کروموزوم که روشی مرسوم در ساخت کروموزوم در مسائل اشتراک سواری و به‌طور کلی در حوزه مسائل مسیریابی خودروها می‌باشد به این ترتیب است که کروموزوم را به صورت لیستی ترتیبی از موقعیت‌های مبدأ و مقصد درخواست‌ها نمایش می‌دهند [۸، ۹ و ۱۰].

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 (۲) خواهد بود. کروموزوم پیاده‌سازی شده در مدل این مقاله نیز مبتنی بر همین روش است. از این رو می‌توان گفت مدل پیاده‌سازی شده در این مقاله مختص داده‌های استفاده شده در این مقاله نبوده و می‌تواند برای انواع مختلف مسائل موجود در حوزه مسیریابی وسایل نقلیه (*Vehicle Routing Problem*) با داده‌های مختلف مورد تست و ارزیابی قرار گیرد.

هم‌سفرانش استفاده شده و نهایتاً این مقادیر به دست آمده با یکدیگر جمع شده و میزان نقض شدگی قید عدم شباهت مسافران هم‌گروه را نتیجه می‌دهد. حال با توجه به داشتن اطلاعات پروفایل و اولویتی کاربران (اطلاعات موجود در جدول (۲)) و نیز به منظور کاهش بار محاسباتی در الگوریتم ژنتیک، هنگام برآورد میزان نقض شدگی قید عدم شباهت میان مسافران، میزان عدم شباهت بین هر دو کاربر موجود در لیست رزرو سفر با توجه به رابطه (۱) محاسبه و در ماتریسی با نام ماتریس عدم شباهت میان کاربران ذخیره گردید. در این رابطه مقدار پارامتر توان مربوط به وزن اولویت، برابر با ۳ در نظر گرفته شده است. استفاده از توان سوم وزن هر اولویت به دو منظور بوده است. اولاً چون می‌بایست تأثیر اولویت با وزن بالاتر بیشتر باشد، یکی از راهکارهای موجود استفاده از توان‌های بالا است تا بتوان مطمئن شد اولویتی که برای کاربر در میان اولویت‌های دیگر از اهمیت بیشتری برخوردار است حتماً رعایت خواهد شد، ثانیاً در حالتی که دو قید ظرفیت خودرو و پنجره زمانی مطرح شده نقض می‌شوند به سیستم مقدار هزینه‌ای برابر با ۱۰۰۰ واحد وارد می‌کنند. بنابراین از توان سوم استفاده شده تا مقدار هزینه‌ای که از نقض این قید به سیستم وارد می‌شود نیز در مقیاس دو قید دیگر باشد.

$$\sum_{i \in N} \sum_{j \in N} \sum_{pref=1}^n W_{pref}^k X_{ij}, X_{ij} = \begin{cases} 1 \\ 0 \end{cases} \quad \text{رابطه (۱)}$$

در رابطه (۱)، X_{ij} بیان‌کننده شباهت یا تفاوت دو مسافر i و j در خصوص اولویت مورد نظر است. زمانی که در اولویت مورد نظر دو مسافر تفاوت داشته باشند مقدار یک گرفته و زمانی که شباهت داشته باشند مقدار صفر می‌گیرد. W_{pref}^k توان k ام وزن مربوط به اولویت مورد بررسی، ثبت شده توسط مسافر i ام است لازم به ذکر است که وزن هر اولویت عددی در بازه $[0, 10]$ است که به توان k می‌رسد. n برابر با تعداد اولویت‌های فرض شده در مدل است که در این تحقیق سه اولویت جنسیت، سن و سیگاری بودن به منظور بررسی شباهت



شکل ۲: مثالی از نمایش نحوه گروه‌بندی و ترتیب سوار و پیاده کردن درخواست‌ها در کروموزوم

• جمعیت با اندازه پویا

در این مقاله به‌جای ثابت در نظر گرفتن پارامتر اندازه جمعیت، این پارامتر به‌صورت پویا در نظر گرفته شده است که نقش اساسی در کاهش زمان و بار محاسباتی الگوریتم دارد. برای این منظور از الگوریتم *PRoFIGA*

(Population Resizing on Fitness Improvement)

GA استفاده شده است [۲۲]. در این روش مبنای تغییر اندازه جمعیت، تغییرات تابع بهینگی است. در رابطه (۲) چگونگی محاسبه نرخ رشد جمعیت آورده شده است.

$$X = IncreaseFactor \times (\max Evalnum - curEvalnum) \times \frac{\max Fitness_{new} - \max Fitness_{old}}{init \max Fitness} \quad (۲)$$

• تابع هزینه تجمیع شده

در این مسأله هدف رسیدن به جوابی است که ضمن کمینه کردن مسافت کل طی شده و زمان سپری‌شده برای مجموع سفرها بتواند تعداد وسایل نقلیه استفاده‌شده و نیز تعداد صندلی‌های خالی ون را کمینه کند. از طرفی با رعایت کردن قیود مطرح‌شده به جوابی قابل قبول برسد. به همین منظور تابع هدف تجمیع شده مطابق با رابطه (۳) تعریف گردید. در رابطه (۳) 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 $penalty$ ، مقدار هزینه اضافی که برای حالت‌های نقض قیود مسأله به تابع هزینه اضافه می‌شود است. مقدار $penalty$ با توجه به رابطه (۴) به دست می‌آید.

در رابطه (۲)، X ، نرخ رشد جمعیت، *IncreaseFactor* ضریب ثابت افزایش جمعیت، $\max Evalnum$ ، تعداد کل تکرار حلقه، $curEvalnum$ ، دور جاری تکرار حلقه، $\max Fitness_{new}$ بهترین مقدار تابع بهینگی نسل جاری، $\max Fitness_{old}$ بهترین مقدار تابع بهینگی نسل قبل، $init \max Fitness$ ، بهترین مقدار تابع بهینگی در نسل اول است.

با توجه به این رابطه زمانی که میزان تابع بهینگی در حال بهبود باشد، جمعیت افزایش پیدا خواهد کرد. همچنین اگر بعد از تعداد تکرار مشخص، بهبودی در جواب الگوریتم حاصل نشد، مثلاً یک تا پنج 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.

$$c_s = t \times \text{timeCost} + d \times \text{distanceCost} + v \times n_vehiclesCost + e \times \text{van_empty_seatCost} + \text{penalty} \quad \text{رابطه (۳)}$$

$$\text{penalty} = \text{total_unsimilarity} + \text{maxCost} \times \text{total_capacity_timeWindow_violation} \quad \text{رابطه (۴)}$$

• مرحله جهش

عملگر جهش می‌تواند توانایی جست‌وجوی محلی الگوریتم ژنتیک و نیز ایجاد تنوع در نسل را ارتقا دهد که عاملی مهم در بیرون آمدن از بهینه‌های محلی و رسیدن به بهینه کلی خواهد بود [۲۳]. در مدل پیاده‌سازی شده این مقاله از عملگر جهش جایگذاری^۲ و نیز دو عملگر ابتکاری ادغام وسایل نقلیه^۳ و تغییر ون به تاکسی^۴ استفاده شده است. نحوه اعمال این عملگرها بر روی کروموزوم ورودی به این نحو است که هر بار یکی از عملگرهای جایگذاری یا ادغام وسایل نقلیه به تصادف انتخاب و اعمال می‌شود و سپس روی خروجی حاصل، عملگر تغییر ون به تاکسی اعمال می‌شود. در ادامه نحوه کارکرد دو عملگر ابتکاری ذکر شده آورده شده است.

۱. عملگر ادغام وسایل نقلیه: هدف رفع مشکل مربوط به عملگر جایگذاری در ناقص و کم بودن تطبیق و دسته‌بندی بهینه و مناسب مسافران و در واقع بهینه کردن حالت اشتراک سواری از طریق استفاده حداکثری از ظرفیت خودروها و به تبع کاهش تعداد وسایل نقلیه مورد استفاده برای سرویس‌دهی به مسافران بود. از جمله مشکلاتی که در بهینه کردن اشتراک سواری در تطبیق مسافران رخ می‌دهد، حالتی مانند کروموزوم زیر (حالت اول) است.

در این حالت مقدار تابع هزینه تجمیع شده برابر با ۱۰۶ واحد است. حالت مناسب برای ترکیب درخواست‌های موجود در این کروموزوم با توجه به جدول (۱) (زمانی

در رابطه (۴)، $total_unsimilarity$ ، برابر با مجموع کل نقض شدگی قید عدم شباهت میان مسافران به لحاظ اولویت‌های کاربران در یک کروموزوم، $maxCost$ مقدار جریمه ثابت و زیاد (در اجرای این تحقیق برابر با ۱۰۰۰ واحد در نظر گرفته شده است)، $total_capacity_timeWindow_violation$ ، تعداد دفعاتی که در محاسبه میزان تابع هزینه یک کروموزوم، قیود ظرفیت خودرو و پنجره زمانی مسافران نقض می‌شوند است.

• عملگرهای الگوریتم ژنتیک استفاده شده در مدل

در ادامه به بیان جزئیات هر یک از عملگرهای استفاده شده در الگوریتم ژنتیک پرداخته شده است. ابتدا از عملگر انتخاب رقابتی برای انتخاب والد‌های برتر برای شرکت در مرحله ترکیب و جهش به منظور استفاده شده است. سپس در مرحله ترکیب از عملگر ترکیب تک نقطه‌ای^۱ استفاده شد. فرزندان تولیدی با این روش ممکن است جوابی ممکن برای فضای مسأله نباشند. زیرا 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 با فرض‌های مسأله در تضاد است؛ و یا ممکن است پیاده شدن مسافر قبل از سوار شدن 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 این‌رو از یکسری توابع اصلاح‌کننده استفاده شد تا بتوان مشکلات مطرح شده را برطرف نمود.

² Insert

³ Join vehicles

⁴ Swap van to taxi

¹ Single-point Crossover

می‌تواند 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 می‌شود. دلیل افزایش مقدار تابع هزینه در این کروموزوم این است که زمان سرویس‌دهی به ۳ مسافر بیشتر می‌شود و از طرفی تعداد وسایل نقلیه نیز کاهش پیدا نکرده است (حالت سوم).

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

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

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

حالت اول

حالت دوم

حالت سوم

که گروه‌بندی را تنها بر اساس دو معیار مکانی و زمانی انجام دهیم و اولویت‌های کاربران را در نظر نگیریم) به صورت کروموزوم زیر است که در این حالت مقدار تابع هزینه برابر با ۸۳ واحد می‌شود. در این حالت تعداد وسایل نقلیه کاهش می‌یابد (حالت دوم). اما جهش‌های متعارف مانند جایگذاری در ترکیب دو وسیله نقلیه ۱ و ۳، موفق نمی‌شود و در حالتی تنها

عملگر ادغام وسایل نقلیه 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 درخواست‌های منتسب به آن با وسیله نقلیه اول در کنار درخواست‌های مربوط به این وسیله و با رعایت قید ظرفیت خودرو سرویس‌دهی شوند. با این حال به منظور ایجاد تغییرات اندک در کروموزوم، به‌ویژه در نسل‌های آخر الگوریتم که تنوع کم می‌شود، عملگر جایگذاری می‌تواند نقش اساسی را در ایجاد تغییرات جزئی و پیشبرد الگوریتم به سمت جواب بهینه کلی داشته باشد.

۲. عملگر تغییر ون به تاکسی: در روند کار حالاتی ایجاد می‌گردید 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.

• الگوریتم‌های جست‌وجوی محلی

مسئله دیگری که بعد از اعمال عملگر جایگذاری 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 این‌رو 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.

به‌طور کلی نحوه کارکرد الگوریتم مبتنی بر اولویت زمانی سوار و پیاده شدن مسافران است، به این شکل است که ابتدا مسافری که زمان مورد انتظارش برای سوار شدن به وسیله نقلیه از سایر مسافران آن مجموعه زودتر است، 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 در مقصدش پیاده کرده و بعد به مبدأ مسافر بعدی که زمان مورد انتظارش از باقی مسافران اولویت بیشتری دارد رفته و آن را سوار می‌کند. این روال برای تمامی مسافران تکرار می‌شود. 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

قسمت (های) تغییر یافته در کروموزوم ورودی می‌شوند. از آنجایی که الگوریتم ژنتیک محلی، به دلیل پیچیدگی‌های محاسباتی آن میزان بار محاسباتی بالاتری نسبت به الگوریتم مبتنی بر اولویت زمانی درخواست‌ها دارد، بنابراین تصمیم شد تا تابع ژنتیک محلی تنها بر روی بهترین کروموزوم ورودی به مرحله جهش اعمال گردیده و سایر کروموزوم‌ها تحت الگوریتم جست‌وجوی محلی مبتنی بر اولویت زمانی درخواست‌ها قرار بگیرند.

۳-۲-۲- بررسی رضایت‌مندی مسافران شرکت‌کننده در اشتراک سواری به لحاظ مالی و زمانی

در این بخش به توضیحات مربوط به قسمت سوم الگوریتم یاد شده در شکل (۱) پرداخته شده است. در مقاله [۵]، انگیزه مالی و زمانی به‌عنوان دو عامل کلیدی در بحث علاقه‌مندی کاربران به اشتراک سواری نام‌برده شد. برای بررسی رضایت‌مندی مالی مسافران، مدل قیمت‌دهی بر اساس مدل مقاله ژانگ و همکاران پیاده‌سازی شده است [۲۴]. بر این اساس دو نوع مسافر داریم، مسافر A که تغییری در مسافت سفرش نسبت به حالتی که بخواهد تکی سفر کند ایجاد نمی‌شود و مسافر B که مسافت سفرش در حالت سفر اشتراکی افزایش یافته است. هر دو این مسافران می‌بایست مبلغ کمتری را نسبت به سفر درستی بپردازند. از طرفی به مسافر B که متحمل مسافت و معطلی بیشتر شده نیز میزان تخفیف بیشتری نسبت به مسافر A به‌منظور برقراری عدالت میان مسافران تعلق بگیرد. به این ترتیب می‌توان مطمئن بود که رضایت مالی مسافران تأمین می‌گردد. برای هر دسته از مسافران نرخ کرایه بر اساس روابط (۵) و (۶) محاسبه می‌شود.

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. به این ترتیب می‌توان مطمئن بود که قید ظرفیت خودرو همواره رعایت خواهد شد. در این الگوریتم دو حالت استفاده از تاکسی و ون برای سرویس‌دهی به مسافران مربوط استفاده شده و حالتی که میزان هزینه کمتری را ایجاد کنند، استفاده می‌شود.

الگوریتم دوم الگوریتم جست‌وجوی محلی مبتنی بر الگوریتم ژنتیک 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. از این الگوریتم تنها زمانی که کروموزوم ورودی به یکی از دو عملگر جهش جایگذاری 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. درنهایت 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 درنهایت بهترین کروموزوم تولیدی را به‌عنوان خروجی به الگوریتم بیرونی پیشنهاد می‌دهد. درواقع خروجی (های) حاصل جایگزین همان

$$\text{RegulareFare}(X) = \text{TravelDistance} \times \text{UnitPrice} + \text{InitialFare} \quad \text{رابطه (۵)}$$

رابطه (۶)

$$\text{price}(X) = \begin{cases} \alpha \times \left(\frac{L_X - L_s}{L_X} \right) \times \text{RegulareFare}(X) + \left(\frac{L_s}{L_X} \right) \times \text{RegulareFare}(X), & \text{if ride-sharingDis}(X) = \text{alone-ridingDis}(X) \\ \beta \times \text{RegulareFare}(X), & \text{if ride-sharingDis}(X) > \text{alone-ridingDis}(X) \end{cases}$$

به رابطه (۷) میزان رضایت‌مندی هر مسافر محاسبه و سپس با حد آستانه مقایسه می‌شود اگر بیشتر و یا برابر با میزان حد آستانه گفته‌شده باشد، رضایت‌مندی مسافر به لحاظ زمانی برآورد شده است.

رابطه (۷)

$$S_m = \begin{cases} 1 & \text{if } t_m \leq T_m (1+a) \\ 1 - \frac{t_m - T_m (1+a)}{t_m} & \text{if } t_m > T_m (1+a) \end{cases}$$

در رابطه (۷) S_m ، برابر با میزان رضایت‌مندی مسافر m از زمان سفرش در حالت اشتراک سواری که مقداری بین صفر و یک دارد، t_m زمان سفر مسافر m در حالت اشتراک سواری، T_m زمان سفر مسافر m در حالت تکی و a ، میزان تحمل مسافر m در ازای افزایش زمان سفر و عددی بین صفر و یک است (در اجرای تست مدل میزان تحمل‌پذیری مسافران برابر با $a = 0.5$ در نظر گرفته شد).

۳-۲-۳- محاسبه میزان تغییر علاقه کاربران حاضر در شبکه اجتماعی، در به اشتراک‌گذاری سفر

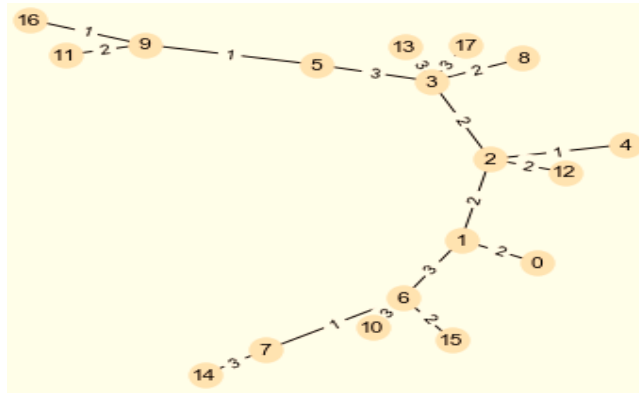
در این بخش به بیان توضیحات مربوط به قسمت چهارم الگوریتم یاد شده در شکل (۱) پرداخته شده است. در این مدل یک شبکه اجتماعی فرضی در نظر گرفته شده است که در آن کاربران با یکدیگر در ارتباط بوده و تجربیات سفر خود را به اشتراک می‌گذارند. در توجیه در نظر گرفتن چنین شبکه اجتماعی باید مفهوم تأثیرگذاری اجتماعی را بیان نمود. در یک شبکه اجتماعی تغییرات در رفتار و تصمیمات یک کاربر تأثیر گرفته از دیگر کاربران شبکه که با او در ارتباط هستند،

در روابط (۵) و (۶) به ترتیب $\text{RegulareFare}(x)$ ، برابر با نرخ کرایه‌ای است که مسافر X باید در سفر تکی بپردازد، TravelDistance ، مسافت کل پیموده شده در سفر تکی، UnitPrice ، قیمت واحد به ازای هر کیلومتر (تاکسی با نرخ ۱۰۰۰ و ون با نرخ ۸۰۰ تومان)، InitialFare ، مقدار کرایه اولیه در آغاز سفر (تاکسی با نرخ ۴۰۰۰ و ون با نرخ ۲۰۰۰ تومان)، $\text{Price}(X)$ ، کرایه مسافری مانند X است که در سفر اشتراکی شرکت کرده است و به دو صورت انجام می‌شود. نخست حالتی که مسافت سفر مسافر X در حالت سفر اشتراکی برابر با سفر درستی باشد که از قسمت اول رابطه (۶) استفاده می‌شود و در غیر این صورت از قسمت دوم رابطه (۶) استفاده می‌شود، L_x فاصله سفر X از X_1 (مبدأ مسافر X) به X_2 (مقصد مسافر X)، L_s ، فاصله سفر از X_1 به Y_1 (مبدأ مسافر Y) و $\alpha = 0.9$ و $\beta = 0.8$ ضرایب کاهنده کرایه در حالت اشتراک سواری هستند و به‌منظور کاهش هزینه سفر مسافران در حالت اشتراک سواری نسبت به سفر تکی اعمال می‌شوند که در اجرای تست مدل برابر با این مقادیر در نظر گرفته شدند. دلیل اینکه مقدار β کمتر از مقدار α انتخاب شده این است که آن دسته از مسافرانی که در سفر اشتراکی نسبت به سایر مسافران هم‌سفر خود، متحمل فاصله سفر و به‌تبع زمان سفر بیشتر شده‌اند هزینه کمتری بپردازند.

به‌منظور بررسی رضایت‌مندی مسافران به لحاظ زمان سفر، از مدل رضایت‌مندی زمانی مطرح‌شده در [۷]، استفاده شده است. در این مدل یک حد آستانه رضایت‌مندی (در این مقاله مقدار $\lambda = 0.6$ در نظر گرفته شده است) در نظر گرفته می‌شود، سپس با توجه

میان آن دو در شبکه اجتماعی است. از طرفی به هر یال وزنی با مقادیر ۱، ۲ و ۳ نسبت داده شده که نشان‌دهنده میزان قدرت ارتباطی بین دو کاربر است.

است [۲۱]. در شکل (۳)، گراف ارتباطی میان کاربران در این شبکه اجتماعی آورده شده است. شماره هر گره معرف یک کاربر و یال بین دو کاربر نشان‌دهنده ارتباط



شکل ۳: گراف ارتباطی میان کاربران موجود در شبکه اجتماعی فرضی اشتراک سواری

وجود دارد. از میان این آنالیزها، آنالیز بردار ویژه^۱، به جهت تعیین عضوهای کلیدی و برجسته در گراف ارتباطی افراد، مؤثرتر عمل می‌کند. در این معیار مقدار منتسب به هر گره بر اساس تعداد ارتباطات آن گره با دیگر گره‌ها (گره‌های همسایه) و در نظر گرفتن میزان ارتباطات گره‌های همسایه، طبق رابطه (۸) به دست می‌آید. با توجه به این معیار گره‌هایی با مقدار بردار ویژه بالاتر از اهمیت بیشتری در شبکه برخوردار هستند و برعکس.

رابطه (۸)

$$x(i) = \frac{1}{\lambda} \sum_{j=1}^N A_{ij} x(j)$$

در رابطه (۸)، $x(i)$ مقدار بردار ویژه مربوط به کاربر i ام، A_{ij} ماتریس مجاورت گراف، $x(j)$ مقدار بردار ویژه مربوط به کاربر j ام، N تعداد کاربران موجود در گراف ارتباطی و λ یک مقدار ثابت است.

حال با تعیین میزان تأثیرگذاری هر کاربر در شبکه و وزن ارتباطی بین هر دو کاربر، می‌بایست میزان تأثیرگذاری هر کاربر شرکت‌کننده در اشتراک سواری

صالحی و همکاران در تحقیقی بیان کردند که کاربران میل و گرایش زیادی به استفاده از نظرات و تجربه‌های افرادی که در شبکه‌های اجتماعی با آن‌ها در ارتباط هستند و آن‌ها را می‌شناسند دارند به نحوی که به نظر این افراد نسبت به سامانه‌های توصیه‌گر بیشتر اهمیت می‌دهند [۲۵]. در این راستا مفهومی تحت عنوان تأثیرگذاری اجتماعی مطرح است که بیان می‌کند در یک شبکه اجتماعی تغییرات در رفتار و تصمیمات یک کاربر تأثیر گرفته از دیگر کاربران شبکه که با او در ارتباط هستند، است [۲۱].

میزان قدرت تأثیرگذاری کاربران روی یکدیگر در شبکه‌های اجتماعی به فاکتورهای مختلفی از جمله میزان قدرت ارتباطی بین اعضای شبکه با یکدیگر، بستگی دارد. در این راستا ارتباط میان هر دو کاربر در شبکه اجتماعی فرضی را به سه دسته، فامیل درجه یک با وزن ۳، دوست با وزن ۲ و دوستِ دوست با وزن ۱ تقسیم‌بندی نموده‌ایم. به کمک آنالیزهای شبکه‌های اجتماعی می‌توان میزان ارتباطات افراد و اهمیت آن‌ها را مشخص کرد. در این خصوص آنالیزهای مختلفی

^۱ Eigen vector

۴- ارزیابی نتایج حاصل از مدل

داده‌های شبیه‌سازی شده مسأله به این صورت است که تعداد ۱۸ درخواست با مجموعاً ۲۶ مسافر که مطابق با جدول (۲) اطلاعات سفر خود را ثبت نموده‌اند در نظر گرفته شده‌اند و می‌خواهند در شبکه راه فرضی مطابق شکل (۴) که شامل ۴۶ گره و ۷۵ یال است، جابه‌جا شوند. گراف شکل (۴) از گراف استفاده شده در مقاله [۱۱] الگو گرفته است. فاصله بین گره‌های همسایه در این شبکه به صورت تصادفی و برحسب کیلومتر به نحوی که توپولوژی شبکه به هم نخورد انتخاب شده‌اند. در این شکل مسیر سفر هر دسته از مسافران نیز مشخص شده است (زمانی که دسته‌بندی مسافران بر اساس شباهت مکانی و زمانی سفر باشد). مسیر ۱ مربوط به مجموعه درخواست‌های ۱ تا ۴، مسیر ۲ مربوط به درخواست‌های ۵ تا ۸، مسیر ۳ مربوط به درخواست‌های ۹ و ۱۰، مسیر ۴ مربوط به درخواست‌های ۱۱ تا ۱۴ و مسیر ۵ مربوط به درخواست‌های ۱۵ تا ۱۸ است. مدل این مقاله با زبان برنامه‌نویسی پایتون و با بهره‌گیری از پردازش موازی نوشته شده است. همانند بسیاری دیگر از تحقیق‌ها که در این حوزه صورت گرفته است، مقادیر تنظیم شده برای بیشتر پارامترهای موجود در جدول (۳) نیز بر اساس تحقیقات پیشین انتخاب شده‌اند. اما مقادیر پارامترهای مورد استفاده در روش‌های ابتکاری جهش ارائه شده در این مقاله با روش سعی و خطا تنظیم شده‌اند.

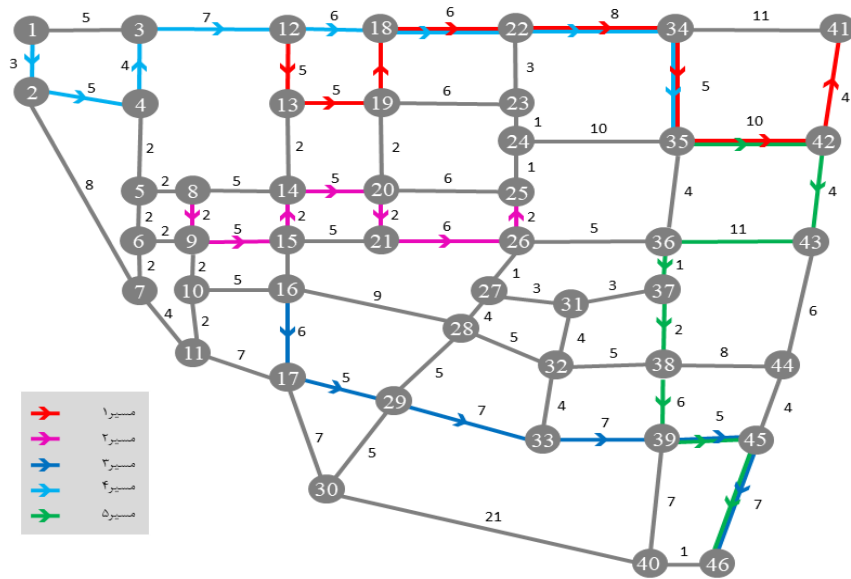
روی افرادی که در اشتراک سواری شرکت نکرده و با این فرد در ارتباط هستند را مدل کرد. بازخورد منتشر شده توسط هر مسافر در پایان سفرش زمانی که رضایت وی به لحاظ مالی و زمانی از سفر اشتراکی جلب شده باشد، اثری مثبت و در غیر این صورت اثری منفی در تغییر علاقه وی و افرادی که در شبکه اجتماعی با او در ارتباط هستند، خواهد گذاشت. در این مدل فرض شده تغییر میزان علاقه کاربر شرکت کننده در سفر اشتراکی برابر با ± 0.1 است و میزان تأثیر نظر وی روی افرادی که با او در ارتباط هستند و در اشتراک سواری شرکت نکرده‌اند با توجه به رابطه (۹) به دست می‌آید.

رابطه (۹)

$$\text{InterestValue}(i) = w_{ij} \times x(j) \times \text{feedback}(j)$$

در رابطه (۹)، $\text{InterestValue}(i)$ میزان علاقه کاربر i ام بوده که در اشتراک سواری شرکت نکرده، وزن ارتباط بین دو کاربر i ام و j ام، $x(j)$ میزان تأثیرگذاری کاربر j ام (کاربر شرکت کرده در اشتراک سواری و دارای ارتباط با کاربر i ام) و $\text{feedback}(j)$ تغییر میزان علاقه کاربر j ام پس از شرکت در اشتراک سواری که مقداری برابر با ± 0.1 دارد؛ است.

به این ترتیب می‌توان میزان تغییر در علاقه کاربران به اشتراک‌گذاری سفر را محاسبه نمود. در ادامه و در بخش ۴ به بیان ارزیابی نتایج حاصل از مدل پرداخته شده است.



شکل ۴: شبکه راه شامل ۴۶ گره و ۷۵ یال

جدول ۳: مجموعه پارامترهای استفاده‌شده در الگوریتم

مقدار پارامتر	پارامتر
۳۰	تعداد اجرای مدل
۲۵۰	بیشینه نسل برای الگوریتم ژنتیک در هر دور اجرای مدل
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 صندلی‌های خالی ون
۴۰ km/h	سرعت متوسط وسیله نقلیه
۱۰۰۰	بیشینه میزان جریمه

توانایی و صحت کارکرد الگوریتم طراحی شده در این مقاله داده‌های موجود یعنی اطلاعات سفر مسافران و نیز لیست اولویت‌های آن‌ها شبیه‌سازی شده‌اند و به نحوی تنظیم گردیده‌اند که بتوان گروه‌بندی مناسب و نوبت سوار و پیاده شدن هر مسافر در گروهش را از پیش دانست. به این ترتیب با رسیدن الگوریتم به جوابی که مورد انتظار است می‌توان از کارکرد صحیح الگوریتم و رسیدن آن به جواب بهینه اطمینان پیدا کرد. جواب مورد انتظار مسأله با توجه به داده‌های شبیه‌سازی شده زمانی که تمامی مسافران در لیست منتخب گفته شده قرار بگیرند به صورت کروموزوم زیر است.

[۱۸۰, ۱, ۲, ۳, ۴, -۱, -۲, -۳, -۴, ۱۸۱, ۵, ۶, ۷, ۸, -۵, -۶, -۷, -۸, ۱۸۲, ۹, ۱۰, -۹, -۱۰, ۱۸۳, ۱۱, ۱۲, -۱۱, -۱۲, ۱۸۴, ۱۳, ۱۴, -۱۳, -۱۴, ۳۶۱, ۱۵, ۱۶, ۱۷, ۱۸, -۱۵, -۱۶, -۱۷, -۱۸]

از این رو الگوریتم طراحی شده با ۳۰ دور تکرار و در هر دور تکرار با تولید ۲۵۰ نسل در الگوریتم ژنتیک، اجرا شد که خروجی نهایی زیر با نتایج جدول (۴) حاصل شد. هر دور تکرار از مدل به معنای تکرار درخواست سفر هر یک از مسافران در روزهای مختلف است. از این رو ۳۰ دور تکرار مدل به معنای درخواست مجدد سفر توسط هر یک از کاربران در سامانه و سرویس‌دهی به درخواست آن‌ها در طی ۳۰ روز متوالی یا به عبارتی یک دوره یک ماهه است.

کروموزوم زیر نشان‌دهنده برنامه‌ریزی سفر برای مسافران بر مبنای اولویت‌های اجتماعی آن‌ها در این اجرا از الگوریتم است.

[۱۸۰, ۱, ۲, ۳, ۴, -۱, -۲, -۳, -۴, ۱۸۱, ۵, ۶, ۷, ۸, -۵, -۶, -۷, -۸, ۱۸۲, ۹, ۱۰, -۹, -۱۰, ۱۸۳, ۱۳, -۱۳, ۳۶۱, ۱۵, ۱۶, ۱۷, ۱۸, -۱۵, -۱۶, -۱۷, -۱۸]

استفاده کرده‌اند، علاقه کاربران در استفاده از سرویس اشتراک سواری افزایش پیدا کرده است. دلیل این امر فراهم شدن زمینه اعتمادپذیری، راحتی و برآورد انگیزه‌های مالی و زمانی که قبل تر به آن‌ها اشاره شد،

در این بخش بعد از تکمیل لیست مسافران منتخب یعنی بررسی شانس حضور یا عدم حضور هر مسافری که در سیستم رزرو درخواست سفر ثبت کرده، این لیست به عنوان ورودی به الگوریتم ژنتیک وارد می‌شود و الگوریتم ژنتیک برنامه‌ریزی سفر شامل گروه‌بندی و نحوه سوار و پیاده شدن را برای این مسافران منتخب انجام می‌دهد. در این اجرا از الگوریتم ژنتیک قید عدم شباهت در نظر گرفته شد تا گروه‌بندی مسافران با یکدیگر علاوه بر شباهت مکانی و زمانی بر مبنای شباهت در اولویت‌های اجتماعی (جنسیت، سن و وضعیت سیگاری بودن) انجام گردد. به منظور بررسی

به منظور بررسی نحوه تأثیرگذاری مسافران شرکت‌کننده در اشتراک سواری، روی افراد دیگری که در شبکه اجتماعی فرضی گفته شده با آن‌ها در ارتباط هستند و از این سرویس استفاده نکرده‌اند، مکانیسمی پیاده شد تا با توجه به خروجی نهایی حاصل از الگوریتم ژنتیک، ابتدا رضایت‌مندی مسافران شرکت‌کننده در اشتراک سواری به لحاظ مالی و زمانی بررسی شده و سپس بر اساس رضایت یا عدم رضایت از سفر خود، بازخوردی را در این مورد با افراد دیگر در شبکه اجتماعی منتشر می‌کنند و بر اساس مطالب گفته شده در بخش ۳-۲-۳، میزان تغییر علاقه کاربران موجود در اشتراک سواری محاسبه و بررسی شد.

با توجه به مقادیر موجود در جدول (۴) ملاحظه می‌شود با گذشت زمان و کسب تجربه از حضور در اشتراک سواری یا از تجربه افراد دیگری که با آن‌ها در شبکه اجتماعی در ارتباط هستند و از این سرویس

بیشینه مقدار وزن اولویت (عدد ۱۰) مسافر در مورد اولویت با بالاترین وزن انتخابی‌اش است، مسافران ۷ و ۸ و ۹ آستانه تحملشان صفر بوده اما با این حال سیستم توانسته برای آن‌ها هم سفر پیدا کند، این در حالی است که مسافران ۱۳ و ۱۴ با توجه به داشتن آستانه تحمل بیشتر نسبت به مسافران ۷ و ۸ و ۹، سیستم نتوانست این دو مسافر را باهم و یا با دیگر مسافران گروه‌بندی کند. دلیل این امر عدم وجود شباهت به لحاظ مکانی و زمانی و اولویت‌های اجتماعی مسافران ۱۳ و ۱۴ با یکدیگر و دیگر مسافران است. یک سیستم اشتراک سواری زمانی موفق عمل خواهد کرد که حالتی برد-برد را برای کاربران خود یعنی مسافران و رانندگان فراهم آورد. یکی از عوامل مهم در ایجاد چنین شرایطی توجه به میزان درآمد رانندگان و هزینه پرداختی مسافران است. مسافر در حالت سفر درستی طبق رابطه (۵) (نرخ معمول کرایه سفر^۱) هزینه‌ای را بر اساس مسافت سفرش پرداخت می‌کند که در صورت استفاده از سرویس اشتراک سواری طبق رابطه (۶) مسافر میزان تخفیفی را دریافت کرده و به‌موجب آن کرایه کمتری را نسبت به سفر درستی پرداخت خواهد کرد و به این ترتیب مسافر به لحاظ مالی به استفاده از سیستم اشتراک سواری ترغیب خواهد شد. در نمودار شکل (۵-الف) برای هر مسافر که به‌صورت اشتراکی سفر کرده است مقایسه‌ای بین هزینه پرداختی وی در این حالت با حالتی که درستی سفر کند آورده شده است. همان‌طور که ملاحظه می‌شود مسافران در حالت اشتراک سواری هزینه به مراتب کمتر نسبت به سفر تکی پرداخت کرده‌اند. با توجه به میانگین گرفته‌شده از اختلاف هزینه پرداختی سفر در دو حالت اشتراکی و درستی برای هر یک از مسافران، این نتیجه حاصل شد که هر یک از آن‌ها به‌طور متوسط ۵۸۰۰ تومان با شرکت در اشتراک سواری صرفه‌جویی کرده‌اند. این بدان معنی است که به‌طور متوسط ۲۶ درصد در هزینه سفر برای هر مسافر صرفه‌جویی شده است.

1.Regulare Fare

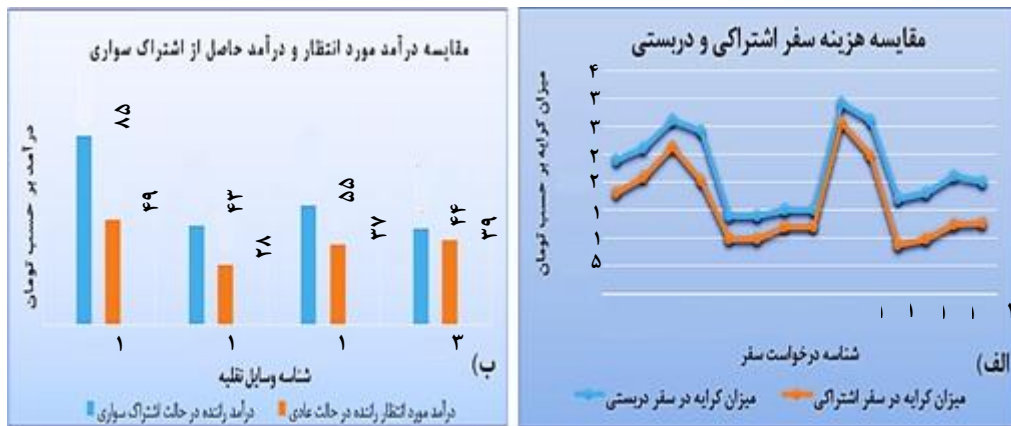
است. از طرفی می‌توان به نقش مؤثر شبکه‌های اجتماعی در نشر و تبلیغ استفاده یا عدم استفاده از یک سیستم پی برد. در خصوص بحث اعتمادپذیری و راحتی باید گفت از آنجایی که این دو مورد با توجه به رعایت و یا عدم رعایت اولویت‌های اجتماعی مطرح‌شده تأمین و یا نقض می‌شوند و همچنین برقراری اولویت‌های اجتماعی مسافران به‌صورت قید در الگوریتم ژنتیک اعمال شده و الگوریتم موظف به رعایت این قید جهت تولید جوابی قابل قبول است، با مقایسه خروجی حاصل از این اجرا با خروجی مورد انتظار گفته‌شده می‌توان به رعایت شدن این قید و به سبب آن تأمین اعتمادپذیری و راحتی برای مسافران پی برد. در مورد مسافران ۱۱ و ۱۲ و اینکه چرا میزان علاقه نهایی آن‌ها به یک نرسیده باید گفت، در خصوص این دسته مسافران که افراد مشابه آن‌ها به لحاظ شباهت مکانی، زمانی و اولویت‌های اجتماعی کم هست (در این لیست رزرو مسافر ۱۱ و ۱۲ تنها با یکدیگر شباهت دارند)، شانس این افراد برای اینکه در اشتراک سواری شرکت کرده و هم‌سفر پیدا کنند پایین می‌آید، از طرفی احتمال اینکه در یک اجرا نیز این افراد باهم در لیست مسافران منتخب برای شرکت در اشتراک سواری انتخاب شوند نیز پایین بوده که این موارد دلیلی بر تغییرات اندک در علاقه این دسته از مسافران برای شرکت در اشتراک سواری خواهد بود؛ بنابراین برعکس این موضوع نیز صادق است، زمانی که تعداد افراد مشابه با یک کاربر در لیست رزرو بیشتر باشد، شانس آن کاربر هم برای پیدا کردن هم‌سفر نیز بالا می‌رود و به‌صورت اشتراکی سفر خواهد کرد که با جلب رضایتش، میزان علاقه او نیز در دفعات بعد افزایش خواهد یافت. افزایش میزان علاقه به معنای افزایش شانس جهت حضور در لیست مسافران منتخب اشتراک سواری خواهد بود و به این ترتیب دلیل بالا بودن تعداد دفعات شرکت در اشتراک سواری بعضی از کاربران در جدول (۴) توجیه می‌شود. با توجه به ستون چهارم که بیانگر آستانه تحمل (تفاضل مقدار وزن مهم‌ترین اولویت کاربر با

جدول ۴: بررسی تأثیرگذاری کاربران در میزان علاقه یکدیگر در اشتراک سواری

شناسه کاربر	علاقه اولیه در اشتراک سواری	علاقه نهایی در اشتراک سواری	آستانه تحمل	دفعات شرکت در اشتراک سواری	دفعاتی که در اشتراک سواری هم‌گروه نداشته است
۱	۰٫۳۵۸	۱	۲	۲۶	۱
۲	۰٫۴۸۱	۱	۱	۲۵	۰
۳	۰٫۶۰۸	۱	۲	۲۶	۰
۴	۰٫۵۸۲	۱	۲	۲۸	۰
۵	۰٫۵۹۲	۱	۱	۲۷	۱
۶	۰٫۴۷۳	۱	۲	۲۸	۰
۷	۰٫۶۲۰	۱	۰	۲۶	۰
۸	۰٫۵۱۳	۱	۰	۲۸	۱
۹	۰٫۳۳۲	۱	۰	۲۱	۵
۱۰	۰٫۴۸۲	۱	۲	۲۰	۰
۱۱	۰٫۳۱۹	۰٫۴۷۴	۴	۶	۱
۱۲	۰٫۶۷۳	۰٫۷۱۰	۴	۱۰	۸
۱۳	۰٫۶۷۸	۰٫۴۹۱	۱	۱۶	۹
۱۴	۰٫۴۳۴	۰٫۲۲۱	۲	۸	۷
۱۵	۰٫۴۲۳	۱	۰	۲۶	۰
۱۶	۰٫۶۰۷	۱	۲	۲۹	۰
۱۷	۰٫۳۸۱	۱	۱	۲۶	۰
۱۸	۰٫۳۷۱	۱	۳	۲۹	۰

در مدل پیاده‌سازی شده این پژوهش مطابق با مقاله قدیر و همکاران، درآمد راننده برابر با مجموع کرایه‌های دریافتی از مسافران منتسب به وی در حالت اشتراک سواری در نظر گرفته شده است. همچنین طبق تعریف ارائه شده در تحقیق ایشان نیز مفهومی با عنوان میزان دریافتی مورد انتظار برای راننده است که مطابق با رابطه (۵) (نرخ معمول کرایه سفر) محاسبه می‌شود [۲۶]. برای این منظور در رابطه یادشده پارامتر مسافت سفر برابر با مسافت کل پیموده شده جهت سرویس‌دهی به تمامی مسافران منتسب به آن راننده در حالت اشتراک سواری در نظر گرفته می‌شود. تفاوت بین این دو مقدار میزان سود یا زیان راننده را در حالت استفاده از سیستم اشتراک سواری بیان می‌کند. در

نمودار ارائه شده در شکل (۵-ب) مقایسه‌ای بین میزان دریافتی رانندگان در حالت استفاده از سیستم اشتراک سواری و نیز میزان دریافتی مورد انتظار آن‌ها در حالت عدم استفاده از سیستم اشتراک سواری آورده شده است. با محاسبه میانگین اختلاف درآمد رانندگان در دو حالت اشتراک سواری و درآمد مورد انتظار آن‌ها در حالت عادی (زمانی که درآمد راننده بر اساس مسافت پیموده شده کل سفر محاسبه شود)، به‌طور متوسط رانندگان ۱۸۷۰۰ تومان درآمد بیشتری در حالت سفر اشتراکی کسب نموده‌اند. این بدان معنی است که رانندگان با حضور در سفر اشتراکی به‌طور متوسط ۴۸ درصد سود کرده‌اند.



شکل ۵: الف) مقایسه هزینه مسافران در سفر اشتراکی و دربستی، ب) مقایسه درآمد مورد انتظار و درآمد حاصل از اشتراک سواری رانندگان

در جدول (۶) مقایسه‌ای بین مسافت کل پیموده شده برای هر وسیله نقلیه استفاده‌شده در دو حالت سفر اشتراکی و سفر تکی، یعنی زمانی که هر یک از مسافران منتسب شده را به صورت تکی جابه‌جا نمایند، بیان شده است. تفاوت مجموع فاصله طی شده در حالت اشتراکی با حالت سفر تکی تقریباً برابر با ۱۰۰ کیلومتر بوده که عدد قابل توجهی است؛ یعنی اینکه تحت سیستم اشتراک سواری معرفی‌شده در این مقاله توانسته‌ایم میزان مسافت کل سفرها را نسبت به حالت دربستی به میزان ۱۰۰ کیلومتر کاهش دهیم. در شکل (۶-الف) تغییرات مربوط به هر یک از توابع هدف مسأله در طی ۵۰۰ دور تکرار مدل نمایش داده شده است. در این شکل به منظور نمایش بهتر تغییرات مربوط به توابع، تعداد وسایل نقلیه و تعداد صندلی‌های خالی ون، مقادیر آن‌ها در ۱۰۰ ضرب شده است. در شکل (۶-ب) تغییرات مربوط به تابع هدف تجمیع شده مسأله نمایش داده شده است. همان‌طور که در این شکل قابل مشاهده است از تکرار ۵۰ به بعد مدل به بهینه کلی رسیده است.

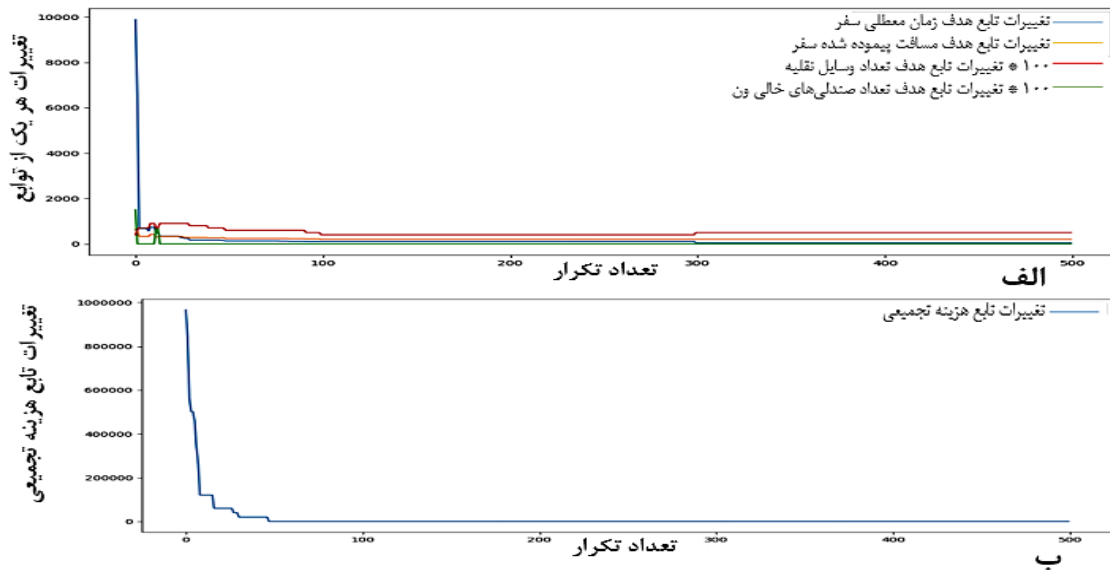
همان‌طور که گفته شد به منظور بررسی رضایت‌مندی مسافران به لحاظ زمان سفر و بررسی پارامتر انگیزه زمانی سفر، از مدل رضایت‌مندی زمانی مطابق با رابطه (۷) استفاده شد. در این مدل حد آستانه رضایت‌مندی ($\lambda = 0.6$) در نظر گرفته شد، سپس میزان رضایت‌مندی هر مسافر محاسبه گردید. نتایج حاصل از این ارزیابی در جدول (۵) آورده شده است. با توجه به مقادیر برآورد شده در ستون میزان رضایت‌مندی زمانی کاربر از سفر اشتراکی و بالاتر بودن این مقادیر نسبت به حد آستانه گفته‌شده می‌توان نتیجه گرفت انگیزه زمانی سفر برای مسافران شرکت‌کننده در سفر اشتراکی نیز تأمین شده است. با این حال همان‌طور که از نتایج جدول (۵) پیدا است برخی از مسافران (در اینجا مسافران ۱۵، ۱۶ و ۱۷) نسبت به بقیه، متحمل معطلی بیشتری در سفر اشتراکی می‌شوند. یک راهکار مؤثر جهت برقراری عدالت، ایجاد مدل‌های قیمت‌دهی مناسب مطابق با آنچه در بخش ۳-۲-۲ گفته شد، است تا بتوان به نحوی رضایت این دسته از مسافران را نیز جلب نمود.

جدول ۵: بررسی میزان رضایت‌مندی زمانی کاربران از سفر اشتراکی

شناسه کاربر	زمان سفر اشتراکی بر حسب دقیقه	زمان سفر تکی بر حسب دقیقه	میزان رضایت‌مندی زمانی کاربر از سفر اشتراکی
۱	۳۹	۳۰	۱
۲	۳۹	۳۳	۱
۳	۴۶٫۵	۴۰٫۸	۱
۴	۴۹٫۵	۳۷٫۲	۱
۵	۲۱	۱۵	۱
۶	۲۱	۱۵	۱
۷	۲۲٫۵	۱۶٫۸	۱
۸	۲۲٫۵	۱۶٫۸	۱
۹	۴۵	۴۵	۱
۱۰	۴۶٫۵	۴۰٫۸	۱
۱۵	۵۰	۲۰	۰٫۶
۱۶	۴۳٫۵	۲۱	۰٫۷۲
۱۷	۴۸	۱۹٫۸	۰٫۶۲
۱۸	۳۳	۲۴	۱

جدول ۶: مقایسه مجموع فاصله طی شده برای هر وسیله نقلیه در حالت سفر تکی و اشتراکی بر حسب کیلومتر

شناسه درخواست سفر	شناسه وسیله نقلیه	مجموع فاصله طی شده در سفر تکی (km)	مجموع فاصله طی شده در سفر اشتراکی (km)
۱۸، ۱۷، ۱۶، ۱۵	۳۶۱	۶۰	۴۷
۴، ۳، ۲، ۱	۱۸۰	۹۴	۴۵
۸، ۷، ۶، ۵	۱۸۱	۴۲	۲۴
۱۰، ۹	۱۸۲	۵۷	۳۷
مسافت کل	-----	۲۵۳	۱۵۳



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

۵- بحث و نتیجه‌گیری

در این مقاله به مطالعه و پیاده‌سازی مدل اشتراک سواری بر پایه الگوریتم ژنتیک مبتنی بر اولویت‌های اجتماعی مسافران پرداخته شد. یک سیستم اشتراک سواری زمانی موفق عمل خواهد کرد که بتواند عوامل اعتمادپذیری، راحتی و انگیزه موردنیاز در به اشتراک‌گذاری سفر را برای کاربران خود فراهم کند. در همین راستا و با توجه به نتایج حاصل از اجرای مدل پیاده‌سازی شده در این تحقیق می‌توان نتیجه گرفت سیستم طراحی شده از قابلیت و کارایی لازم برخوردار است. زیرا در خصوص بحث اعتمادپذیری و راحتی، برنامه‌ریزی سفر را بر اساس شباهت میان مسافران به لحاظ اولویت‌های اجتماعی انجام داده است. همچنین در راستای برآورد انگیزه‌های مالی و زمانی، با توجه به شکل (۵) و جدول (۵)، جهت ترغیب کاربران (مسافران و رانندگان) در استفاده بیشتر از سیستم اشتراک سواری نیز موفق عملکرد و توانسته حالتی برد-برد را برای مسافر و راننده ایجاد کند.

در خصوص برآورد انگیزه‌های محیطی شامل کاهش مصرف سوخت و کاهش ترافیک، سیستم طراحی شده توانست تعداد وسایل نقلیه استفاده‌شده جهت

سرویس‌دهی به درخواست‌های سفر را کاهش دهد که عاملی در جهت کاهش ترافیک است. از طرفی با توجه به نتایج حاصل در جدول (۶)، دیده می‌شود که مسافت کل پیموده شده در حالت اشتراک سواری نسبت به حالت سفر تکی بسیار کمتر است. این نتیجه به معنای کاهش مصرف سوخت وسایل نقلیه مورد استفاده و به این ترتیب کاهش آلودگی هوا خواهد بود.

از طرفی مکانیسمی جهت بررسی تأثیر بازخورد کاربران در مورد تجربه سفرشان با دیگران طرح‌ریزی شد. تحت این مکانیسم هر مسافر در پایان سفر اشتراکی خود رضایت یا عدم رضایتش از سفری که داشته را منتشر کرده و تأثیر نظر این کاربر روی افرادی که با او در شبکه اجتماعی در ارتباط هستند بررسی و مدل‌سازی شد. با توجه به نتایج حاصل در جدول (۴) و تفاوت ایجاد شده در میزان علاقه اولیه و نهایی کاربران می‌توان به اهمیت نظر کاربران در مورد یک سیستم در شبکه‌های اجتماعی پی برد. از طرفی با توجه به این نتایج و افزایش میزان علاقه نهایی اکثر کاربران نسبت به میزان علاقه اولیه آن‌ها می‌توان دریافت که سیستم طراحی شده در جهت جلب رضایت کاربران خود موفق عمل کرده است. با این حال بنا به دلایل ذکر شده در

۳- در این تحقیق تنها اولویت‌های اجتماعی و رضایت‌مندی مسافران مورد ارزیابی و بررسی قرار گرفت. در تحقیق‌های آتی پیشنهاد می‌شود تا اولویت‌ها و خواسته‌های رانندگان نیز در نظر گرفته شود و به این ترتیب سامانه‌ای چند عامله (شامل مسافر و راننده) طراحی و پیاده‌سازی شود.

۴- ایجاد سیستم ثبت بازخورد برای راننده و مسافر به نحوی که در پایان سفر مسافر، راننده را بر اساس برخورد اجتماعی و میزان مهارت در رانندگی و همچنین راننده، مسافران خود را بر اساس تعداد لغو سفر و معطلی در شروع سفر نمره دهی کنند؛ که این نمرات برای برنامه‌ریزی سفر آن رانندگان و مسافران با دیگران در سفرهای آتی مؤثر خواهد بود.

پیشنهاد می‌شود برای تحقیق‌های آتی، کاربران مشابه را از طریق آنالیز میزان شباهت آن‌ها بر اساس فعالیت‌هایی که در شبکه‌های اجتماعی دارند پیدا و گروه‌بندی کرد؛ زیرا در شبکه‌های اجتماعی کاربران بر اساس ویژگی‌های درونی و سلیقه خود به یکسری مطالب علاقه پیدا کرده و آن مطالب را دنبال می‌کنند.

بخش مقدمه، سیستم پیشنهادی تنها با داده‌های شبیه‌سازی و ساده‌شده‌ای که گفته شد اجرا گردید. در همین راستا و به موجب تکمیل در جهت واقعی‌تر شدن مدل پیشنهادی موارد زیر برای تحقیق‌های آینده در این زمینه پیشنهاد می‌شوند:

۱- در این تحقیق مدلی به منظور اشتراک سواری پیشنهاد شد که برای حصول اطمینان از رسیدن الگوریتم به جواب مناسب و کارایی راهکار ارائه شده، داده‌های مسأله به صورت شبیه‌سازی شده جمع‌آوری و استفاده شدند تا بتوان جواب مناسب را از قبل بدانیم. پیشنهاد می‌شود تا در تحقیق‌های دیگر از داده‌های واقعی که پیچیدگی‌های بیشتری دارند استفاده گردد و مدل پیشنهادی تحت این داده‌ها مورد ارزیابی قرار گیرد.

۲- در مدل پیشنهادی راهکار اولیه‌ای جهت بررسی میزان تأثیرگذاری افراد موجود در شبکه‌های اجتماعی بر یکدیگر ارائه گردید که در واقعیت فاکتورهای زیاد دیگری نیز بر این مهم تأثیرگذارند؛ لذا پیشنهاد می‌شود در تحقیق‌های آتی فاکتورهای مؤثر دیگر نیز بررسی، استخراج و به مدل اعمال شوند.

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. Zhou, Y. Huang, J. McGlynn, and A. Han, "Who will you share a ride with: Factors that influence trust of potential rideshare partners," arXiv preprint arXiv:1707.04284, 2017.
- [4] L. Tang, M. Han, Z. Duan, and D. Cai, "An efficient ride-sharing recommendation for maximizing acceptance on geo-social data," CCF Transactions on Pervasive Computing and Interaction, vol. 1, no. 4, pp. 240-249, 2019.
- [5] J. Yousaf, J. Li, L. Chen, J. Tang, and X. Dai, "Generalized multipath planning model for ride-sharing systems," Frontiers of computer science, vol. 8, no. 1, pp. 100-118, 2014.
- [6] 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.
- [7] C. Ma, R. He, and W. Zhang, "Path optimization of taxi carpooling," PLoS One, vol. 13, no. 8, p. e0203221, 2018.

- [8] W. M. Herbawi and M. Weber, "A genetic and evolutionary heuristic algorithm for solving the dynamic ride-matching problem with time windows," in *Proceedings of the 14th annual conference on Genetic and evolutionary computation*, 2012, pp. 385-392: ACM.
- [9] G. Pankratz, "A grouping genetic algorithm for the pickup and delivery problem with time windows," *Or Spectrum*, vol. 27, no. 1, pp. 21-41, 2005.
- [10] W.-R. Jih and J. Y.-J. Hsu, "A family competition genetic algorithm for the pickup and delivery problems with time window," *Bulletin of the College of Engineering*, no. NTU 90: 89-98, 2004.
- [11] 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.
- [12] J. Žak, M. Hojda, and G. Filcek, "Multiple criteria optimization of the carpooling problem," *Transportation Research Procedia*, vol. 37, pp. 139-146, 2019.
- [13] G.-q. Pan, "Study on Taxi Carpooling Based on City Gridding," *Value Engineering*, vol. 2013, no. 14, p. 14, 2013.
- [14] G. Dimitrakopoulos, P. Demestichas, and V. Koutra, "Intelligent management functionality for improving transportation efficiency by means of the car pooling concept," *IEEE transactions on intelligent transportation systems*, vol. 13, no. 2, pp. 424-436, 2011.
- [15] M. Berlingerio, B. Ghaddar, R. Guidotti, A. Pascale, and A. Sassi, "The GRAAL of carpooling: GRen And sociAL optimization from crowd-sourced data," *Transportation Research Part C: Emerging Technologies*, vol. 80, pp. 20-36, 2017.
- [16] G. H. de Almeida Correia, J. de Abreu e Silva, and J. M. Viegas, "Using latent attitudinal variables estimated through a structural equations model for understanding carpooling propensity," *Transportation Planning and Technology*, vol. 36, no. 6, pp. 499-519, 2013.
- [17] J. DeFrancisco, R. Harb, and E. Radwan, "Evaluation of a carpooling program in a university setting using a stated preference survey," 2014.
- [18] E. L. Lasmar, F. O. de Paula, R. L. Rosa, J. I. Abrahão, and D. Z. Rodríguez, "Rsr: Ridesharing recommendation system based on social networks to improve the user's qoe," *IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems*, vol. 20, no. 12, pp. 4728-4740, 2019.
- [19] S. B. Nasr, "New approach for a stable multi-criteria ridesharing system," *arXiv preprint arXiv: 1901.02510*, 2019.
- [20] R. W. Floyd, "Algorithm 97: shortest path," *Communications of the ACM*, vol. 5, no. 6, p. 345, 1962.
- [21] A. Muruganatham and M. Gandhi, "Discovering and Ranking Influential Users in Social Media Networks Using Multi-Criteria Decision Making (MCDM) Methods," *Indian J Sci Technol*, vol. 9, no. 32, pp. 1-11, 2016.
- [22] A. E. Eiben, E. Marchiori, and V. Valko, "Evolutionary algorithms with on-the-fly population size adjustment," in *International Conference on Parallel Problem Solving from Nature*, 2004, pp. 41-50: Springer.
- [23] 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.
- [24] 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.
- [25] A. Salehi-Abari and T. White, "The impact of naive agents in heterogeneous trust-aware societies," in *International*

Workshop on Multi-Agent Systems and Agent-Based Simulation, 2009, pp. 110-122: Springer.

- [26] H. Qadir, O. Khalid, M. U. Khan, A. U. R. Khan, and R. Nawaz, "An optimal ride sharing recommendation framework for carpooling services," *IEEE Access*, vol. 6, pp. 62296-62313, 2018.



Solving the ridesharing problem of Non-homogeneous vehicles by using an improved genetic algorithm and the social preferences of the users

Vahid Hashemi^{1*}, Mohammad Sadi Messgari², poorya Mohammadi Kazaj¹

1- Ms.c student of GIS in Department of Geodesy and Geomatic, K.N.Toosi University of Technology, Tehran, Iran
2- Associate Professor in Department of Geodesy and Geomatic, K.N.Toosi University of Technology, Tehran, Iran

Abstract

Most of the existing ridesharing systems perform travel planning based only on the two criteria of spatial and temporal similarity of the travelers. In general, neglecting the social preferences leads to reducing the users' willingness to use ridesharing services. To achieve this purpose, a system should be designed and implemented not just based on the two necessary conditions of spatial and temporal similarities, but also based on the similarities between the users in terms of their social and personal preferences to plan a travel. This study aims to create and implement a suitable model for ridesharing systems by using vehicles with different capacities and considering the users' social preferences using an advanced genetic algorithm. In this study, two innovative mutation operators and two local search algorithms have been applied to improve the genetic algorithm in this particular case. In this model, a mechanism has been designed to help the users to share their feedbacks on their travel experience on a hypothetical social network with other users. Then, the effect of the users' opinions on each other whether to use or not to use this system was analyzed and examined. As the users' interest in using this system increased, the results obtained from this analysis and the evaluation of the implemented model indicate efficiency and success of the system.

Key words: Social preferences of users, improved genetic algorithm, Innovative mutation operators, ridesharing feedback mechanism, Social network of users.