فصلنامه مهندسی حمل و نقل، دوره ۱۲، شماره ٤، تابستان ۱٤۰۰، ص. ۹۳۲-۹۱۷
مقاله علمی-پژوهشی

طراحی و توسعه یک سیستم هوشمند مکانی-زمانی جهت بهینه‌سازی اشتراک‌گذاری سفر با استفاده از الگوریتم ژنتیک

سمیرا رنگ ریز، کارشناس ارشد GIS از دانشگاه آزاد اسلامی واحد تهران جنوب
جواد صابریان (مسئول مکاتبات)، دکترای GIS و استادیار گروه مهندسی نقشه برداری در دانشگاه آزاد اسلامی واحد تهران جنوب
Email: j_saberian@azad.ac.ir

دریافت: ۱۳۹۸/۰۵/۱۹ پذیرش: ۱۳۹۸/۱۱/۱٤

چکیده

در دهه‌های اخیر با افزایش جمعیت شهرها و رشد اقتصادی، حمل و نقل و ترافیک شهری افزایش چشمگیری یافته است. امروزه، به منظور کاهش ترافیک، راهکار نوینی با نام اشتراک‌گذاری سفر رایج شده است، که در آن افراد در مسیر سفر خود، با افراد دیگر همسفر شده و با خودداری از تک‌سرنشینی از حجم ترافیک شهر می‌کاهند. در مقاله حاضر پس از مطالعه‌ی تحقیقات پیشین در این موضوع، تصمیم به بکارگیری روشی جدید جهت چینش بهینه ترکیب مسافران و کاهش تاکسیهای تک‌سرنشین گرفته شد. نوآوری بکار رفته در این تحقیق در استفاده از الگوریتم ژنتیک جهت بهینه سازی و در نظر گرفتن یک زمان معطلی تعیین شده توسط هر مسافر می باشد. الگوریتم ژنتیک با کنار هم قراردادن تصادفی مبدا و مقصد مسافران در تاکسی‌ها و اندازه‌گیری هزینه سفر بین این مبداها و مقصدها، هزینه کل سفر هر تاکسی را محاسبه کرده و در نهایت جواب بهینه که بهترین چینش مبداها و مقصدها در همه تاکسی‌ها است را پیدا می کند. البته در این بین بعضی از تاکسی‌های تک‌سرنشین خاموش شده و مسافران آنها بین بقیه تاکسی‌ها پخش می‌شوند. در این راستا از مفاهیم «آنالیز شبکه» برای محاسبه هزینه‌ی سفر بین مبداها و مقصدهای مسافران استفاده شد. در نهایت نتایج بدست آمده از اعمال مدل توسعه داده شده بر روی منطقه ۶، ۷، ۱۱ و ۱۲ شهر تهران و ۵۰۰ مسافر و ۵۰۰ تاکسی نشان داد که ۲۵۸ تاکسی (۵۱/۶ درصد) از تاکسیها خاموش شدند که نشان از کارایی مناسب الگوریتم مورد نظر برای کاهش خودروهای تک‌سرنشین دارد. همچنین ۹۸ تاکسی (۱۹/۶ درصد) تاکسی‌ها به صورت ۳ مسافره و ۶۲ تاکسی (۱۲/٤ درصد) به صورت ۲ مسافره تعیین شدند و تنها ۸۲ تاکسی (۱۶/٤ درصد) اقدام به جابجایی ۱مسافر کردند. به بیان دیگر، ۱۶/٤ درصد مسافران به صورت تکی سفر کرده و ۸۳/۶ درصد مسافران به صورت اشتراکی سفر کرده‌اند که نشان از موفقیت‌آمیز بودن روش توسعه داده می باشد.

واژه‌های کلیدی : اشتراک‌گذاری سفر، هوش مصنوعی، الگوریتم ژنتیک، تحلیل شبکه، زمان معطلی

۱. مقدمه

آلودگی هوا و ترافیک دو معضل بزرگ کلان‌شهرهای کشور است که با نگاهی دقیق به آن‌ها می‌توان به این نتیجه رسید که خودروها عامل اصلی بروز آنها هستند. مدیریت صحیح تردد خودروها اولین گام برای رها شدن کلان‌شهرها از معضل ترافیک و آلودگی هواست. در زندگی مدرن امروزی و به خصوص در کلان‌شهرها، ترافیک و عبور و مرور خودروها ارتباط مستقیمی با اقتصاد دارد چرا که بخش عظیمی از حرکت خودروها ارتباط به افراد و کسب‌وکارها و فعالیت‌های اقتصادی آن‌ها دارد. از تردد روزانه کارمندان سازمان‌های دولتی و شرکت‌های خصوصی گرفته تا جابجایی کالاها و خدمات و حرکت مردم و خانواده‌ها جهت استفاده از امکانات شهری و هزینه کردن برای آن، همگی یک سر در اقتصاد و یک سر در حمل‌ونقل و ترافیک دارد و به دیگر سخن، پویایی اقتصاد وابسته به حمل‌ونقل است. مدتی است کارشناسان و صاحب‌نظران حوزه حمل و نقل از اقتصاد اشتراکی برای حل بسیاری از معضلات نام می‌برند. اقتصاد اشتراکی عبارت است از به اشتراک گذاشتن دارایی‌های افراد بین یکدیگر، به این صورت که هر شخص نیازهای آنی خود را از طریق تملک توافقی و موقت دارایی‌های مادی و معنوی بلا استفاده دیگران تامین می‌کند. از جمله مسائل مطرح در بحث اقتصاد اشتراکی، هم‌سفری است [Gorgoon et al, 2019].

آنچه که امروزه در روند حمل‌ونقل مسافران درون شهری اتفاق می‌افتد تعداد قابل توجه تاکسی‌های دربستی و نیز خودروهای تک‌سرنشین است که برای به مقصد رسیدن یک مسافر از یک خودرو استفاده می‌کنند که طبیعتا باعث افزایش ترافیک شهری می‌شود و همچنین هزینه سفر را برای مسافران زیاد می‌کند. در این بین ایده اشتراک سفر می‌تواند راه‌حلی برای این مشکل باشد و مسافرانی که مسیر مشترکی دارند می‌توانند از یک خودرو به صورت اشتراکی استفاده کنند تا نه تنها از رفت‌وآمد بیهوده‌ی یک خودروی دیگر جلوگیری کنند بلکه هزینه‌ی سفر خود را نیز کاهش دهند.

از مهم‌ترین مزیت‌های هم‌سفری علاوه بر حذف تک‌سرنشینی، صرفه‌جویی در مصرف سوخت، کاهش چشمگیر ترافیک، پایین آمدن هزینه‌های جانبی خودرو، کم شدن میزان تولید آلاینده‌های سوختی، کاهش استرس‌های ناشی از رانندگی و نیاز کمتر به جای پارک می‌توان عنوان کرد. به این ترتیب هم در هزینه‌های صاحب اتومبیل صرفه‌جویی می‌شود و هم اینکه سایر افراد هم با هزینه‌ای کمتر به مقصد می‌رسند [Nourinejad and Roorda, 2016]

در این مقاله پس از شناسایی پارامترهای موثر بر مسئله و مدل‌سازی مناسب مسئله، داده‌های موردنیاز مسئله تولید و جمع‌آوری شدند. این داده‌ها شامل شبکه معابر شهری به عنوان بستر محاسبات، اطلاعات مسافران و اطلاعات تاکسی‌ها است. اطلاعات مسافران خود شامل مبدا سفر، مقصد سفر، زمان درخواست سفر و سقف مدت زمان انتظار برای اشتراک سفر است. همچنین مبدا و ظرفیت تاکسی‌ها نیز به عنوان اطلاعات تاکسی‌ها مورد نظر است.

چالش اصلی مسئله یافتن بهترین چینش برای مسافران است. برای این منظور در این تحقیق به روشی نوآورانه از الگوریتم ژنتیک که یکی از الگوریتم‌های فرا ابتکاری[1] است استفاده شده است. نحوه ساخت کروموزومها[2] با در نظر گرفتن یک زمان معطلی برای هر مسافر ابتکاری است که به آن پرداخته شده است. به این صورت که یک ماتریس با تعداد سطر تعداد تاکسی‌ها تشکیل شده و در هر سطر شماره مسافرهای مختلف قرار می‌گیرد که نشان‌دهنده‌ی ترتیب و چینش مسافران در تاکسی‌ها خواهد بود. در واقع ترتیب مبدا و مقصد مسافران به صورت تصادفی در هر سطر برای هر تاکسی تعیین می‌شود. تابع بهینگی نیز برای هر جواب فاصله بین هر دو مسافر در هر تاکسی است که برای هر تاکسی جمع می‌شود و این مجموع سفر برای همه تاکسی‌ها محاسبه می‌شود تا مجموع کل هزینه سفر هر جواب بدست بیاید و بتوان جواب‌ها را بر اساس هزینه سفر مرتب نمود. پس از تکرار الگوریتم و همگرایی به سمت جواب بهینه، بهترین چینش مسافران که جواب نهایی و هدف مسئله است، بدست

می‌آید. به این ترتیب تعدادی از تاکسی‌ها خاموش شده و تک-مسافرهای آنان در بین تاکسی‌های دیگر پخش می شوند.

در ادامه ساختار مقاله به این صورت تنظیم شده است که در بخش دوم پیشینه تحقیق بررسی شده است. بخش سوم روش پیشنهادی توسعه داده شده به تشریح بیان می شود. مبانی الگوریتم ژنتیک و نحوه استفاده از آن در این تحقیق کاملا بیان می شود. بخش چهارم به پیاده سازی و اجرای روش پیشنهادی می پردازد. در این بخش سناریویی تعریف می‌شود که در آن ۵۰۰ مسافر و ۵۰۰ تاکسی در نظر گرفته شده و با استفاده از الگوریتم پیشنهادی مسیرهای اشتراکی بین آن ها تعیین و تخصیص داده می شود. مشاهده می شود که بیش از نیمی از تاکسیها یعنی ۲۵۸ تاکسی خاموش شده و مسافران بصورت اشتراکی در تاکسیهای باقیمانده به مقصد می رسند.

۲. مطالعات پیشین

نخستین سیستمِ نظام‌مند و مدیریت شده برای اشتراک سواری، توسط دولت ایالات متحده در مقابله با کمبود سوخت پس از جنگ جهانی دوم شکل گرفت. در سال ۱۹۷۰ بسیاری از روش‌های اشتراک سواری به عنوان پیامدهای کمبود سوخت پدیدار شدند. شرکت کرایسلر بدین صورت عمل‌کرد که ون‌هایی برای کارمندانی که بین محل کار و منزل خود تردد داشتند، تهیه کردند. کارمندان به صورت خودکار به اشتراک‌سواری پرداختند و هریک از کارمندان چند کارمند دیگر را به محل کار خود می‌رساندند [Moeinfar and Tashakori Hashemi, 2013]

مطیعیان و همکاران اشتراک سفر را با استفاده از الگوریتم کلونی مورچه مطالعه کردند. در این پژوهش، سناریوی اشتراک‌گذاری سفر توسط کارمندان یک اداره که در آن کارمندان به جای چند خودرو از یک خودرو استفاده کردند شبیه‌سازی شد. برای ارزیابی الگوریتم از ۲۰ نقطه موجود در منطقه نارمک تهران استفاده شد و پس از ۲۰۰ بار اجرای الگوریتم، مسیر بهینه جمع‌آوری مسافران بدست آمد که با مشاهده بصری مسیر، ترتیبی منطقی را نشان داد [Motieian et al, 2012].

ملک‌پور در سال ۱۳۹۳ به تلفیق محیط اطلاعات مکانی مردم‌گستر (که بستری برای اشتراک‌گذاری و دستیابی به اطلاعات داوطلبانه را دراختیار قرار می‌دهند) و خدمات سواری اشتراکی پرداخت. در این پژوهش با هدف تلفیق سواری‌اشتراکی و محیط اطلاعات مکانی مردم‌گستر، ضمن بررسی برهم‌کنش میان این دو، الگویی جهت برنامه‌ریزی سفر به شیوه سواری‌اشتراکی برای کاربران این سیستم پیشنهاد شد. چارچوب پیشنهادی برای چهل‌وپنج مسافر و پانزده راننده در منطقه ۱۱ تهران پیاده‌سازی شد [Malekpour, 2014].

عباسی فام در سال ۱۳۹۳ در جهت توسعه سیستم‌های اشتراک سواری، از شبکه چندساختی استفاده کرده است. در الگوی پیشنهادی جهت طراحی برنامه‌ریزی سفر، از سیستم‌های دیگر مانند مترو، اتوبوس و تاکسی در کنار سیستم اشتراک سواری استفاده شده است. چهارچوب پیشنهادی برای ۲۰ نفر در قسمتی از شهر تبریز پیاده‌سازی شده است. مرحله اول محاسبات، که فقط از خودروهای سواری شخصی در اشتراک سواری استفاده شده است، توسط الگوریتم ژنتیک والگوریتم کلونی مورچگان پیاده‌سازی و اجرا شده و سپس نتایج بدست آمده مورد بررسی قرار گرفته است. با توجه به مناسب بودن الگوریتم کلونی مورچگان در مرحله دوم محاسبات نیز از همین الگوریتم استفاده شده است. نتایج بدست آمده نشان دهنده افزایش تطبیق درخواست‌ها، کاهش هزینه سفر کل سیستم و کاهش زمان انتظار مسافران می‌باشد [Abbasi Fam, 2014].

عربشاهی و همکاران در سال ۱۳۹۵ به بهبود دسترسی به سرویس اشتراک تاکسی بر اساس ارتباط بین رانندگان و مسافران و مرکز مدیریت سرویس پرداخته‌اند. این مقاله یک سیستم اشتراک تاکسی بر اساس در خواست مسافران و سرویس‌گیرندگان از طریق ابزارهای ارتباطی معرفی می‌کند. در این سیستم با در اختیار داشتن وضعیت تاکسی‌های موجود،

برنامه مسیردهی مناسبی جهت پاسخ به درخواست های ارسالی توسط کاربران ارائه می‌گردد. در این راهکار، هدف انتخاب مناسبترین تاکسی براساس پارامتر کوتاهترین زمان سفر می‌باشد. نتایج نشان دهنده‌ی کاهش زمان انتظار مسافرین و ارائه سرویس مناسب با هزینه‌ی کمینه برای مسافران،خواهد بود [Arabshahi, Balouch and Bakhtiari, 2016].

شورورزی و همکاران در سال ۱۳۹۵ سیستم حمل‌ونقل کارکنان ادارات را با استفاده از ترکیب الگوریتم خوشه‌بندی و الگوریتم جستجوی ممنوعه[۳] بهینه‌سازی کرده‌اند. در این پژوهش یکی از راه‌های کاهش حجم ترافیک، استفاده از سرویس‌های حمل و نقل برای کارکنان ادارات و شرکت‌های بزرگ و کارخانه‌ها معرفی شده است که در آن برنامه‌ریزی و تخصیص خودروها به کارکنان سازمان‌ها و تعیین مسیرهای جمع آوری آنها از مسائل اصلی این پژوهش می‌باشد و در واقع نوعی از اشتراک سفر می‌باشد. نتایج نشان می‌دهد که استفاده از تلفیق الگوریتم خوشه‌بندی و جستجوی ممنوعه، نتایج بهتری نسبت به استفاده از الگوریتم جستجوی ممنوع به تنهایی دارد. والگوریتم تلفیقی سرعت بیشتری در رسیدن به پاسخ نهایی دارد [Shoorvarzi, Naeimi and Talei, 2016].

Gorgoon و همکاران در سال ۲۰۱۹ از روش خوشه‌بندی و الگوریتم مسیریابی A^* برای حل مسئله اشتراک سفر استفاده نمودند. آنها در این مقاله از روش خوشه‌بندی برای یافتن مسافرانی که در نزدیکی یکدیگر قرار داشتند (از نظر مبدا، مقصد و زمان درخواست سفر) استفاده کردند و تعدادی از سفرهای تکی را به سفر اشتراکی تبدیل نمودند. در این مقاله برای مسیریابی بین نقاط، الگوریتم ابتکاری A^* بکار گرفته شده است [Gorgoon et al, 2019].

برای حل مسئله اشتراک سواری پویا دو رویکرد بهینه‌سازی مرکزی و بهینه‌سازی غیر مرکزی وجود دارد. ویژگی متمایزکننده این دو رویکرد به سطح کنترل هر یک از متدها باز می‌گردد. در بهینه‌سازی مرکزی یک هدف کلی دنبال و تصمیم گیری در یک مرکز انجام می شود اما در بهینه‌سازی غیر مرکزی سیستم شامل عامل‌های مستقل است که اهداف شخصی را دنبال می‌کنند. Nourinejad و Roorda به بررسی نقاط ضعف و قوت این دو متد و ارائه چارچوبی عامل مبنا که مرتفع‌کننده نقاط ضعف آن‌ها باشد، پرداختند. همین‌طور تاثیر رویکردهای قیمت‌گذاری مختلف در سیستم‌های اشتراک سواری را بررسی کردند [Nourinejad and Roorda, 2016].

Lin و همکاران از الگوریتم تبرید شبیه‌سازی شده جهت بهینه‌سازی مسئله استفاده و کمینه کردن هزینه‌های عملیاتی و بیشینه شدن سطح رضایت کاربران به عنوان توابع هدف در نظر گرفته شد. همچنین برای تعیین کمیت توابع هدف، پارامترهای مسافت پیموده شده، زمان انتظار مشتریان و زمان ذخیره شده آنها توسط این روش، بکار رفت. نتایج نشان داد که این الگوریتم قدرت مناسبی در حل این مسئله دارد و استفاده از سیستم‌های اشتراک سواری منجر به کاهش ۱۹ درصدی میزان کل مسافت پیموده شده گردید (Lin et al.,2012).

Santos و Xavier نشان دادند که تکنیک پنجره‌های زمانی قابل تعمیم برای اشتراک سواری است و در چارچوب پیشنهادی خود از شبکه‌های اجتماعی به عنوان انگیزه‌ای جهت ایمن بودن سیستم استفاده کردند. برای مثال کاربران می‌توانند تنها با دوستان خود در شبکه‌های اجتماعی به اشتراک سواری بپردازند. توابع هدف در آن مطالعه بیشینه کردن استفاده از سرویس و کمینه کردن هزینه‌های مسافران بود که مسئله اشتراک تاکسی را با استفاده از رویکرد بهینه‌سازی حریصانه[۴] حل کردند. نتایج نشان داد که اشتراک تاکسی منجر به ۱۸٪ صرفه اقتصادی گردید(Santos and Xavier, 2013).

Santos و Xavier مسئله اشتراک‌گذاری سفر را با استفاده از الگوریتم حریصانه حل کردند. در آن پژوهش مسافران مبدا، مقصد و اطلاعات دیگری از جمله زمان درخواست سفر، زمان رسیدن و ماکزیمم هزینه‌ای که مایل به پرداخت بودند را با استفاده از یک اپلیکیشن ارسال می‌کردند. صاحبان خودروی

شـــخصـــی نیز مبدا، مقصـــد، زمان حرکت و ماکزیمم تاخیر را مشـخص می‌کردند. همچنین رانندگان تاکسی نیز مکان و زمان شروع و پایان سرویس‌دهی را ارسال می‌کردند. الگوریتم، مسیر و پارامترهایی نظیر بیشینه ظرفیت خودرو، زمان تاخیر و رسیدن نیز محاسـبه کرد و این مسـئله به صـورت پویا حل شد چرا که ممکن اسـت در بین راه هم درخواست‌های جدید ارسال شود. نتایج شبیه‌سازی نشان از صرفه‌جویی ۳۰ درصدی در هزینه‌های پرداختی مسافران داشت (Santos and Xavier, 2015).

Rayle و همکاران به مطالعه نحوه کارکرد سیستم‌های اشتراک سـواری در سـانفرانسـیسـکو و تاثیر آن بر میزان اسـتفاده از سـیسـتم‌های حمل‌ونقل عمومی و حجم سـفرها پرداختند. همچنین سرویس‌های اشتراک سواری و سرویس‌های قدیمی‌تر تاکسـی را از نظر پارامترهایی مانند زمان سـفر، میزان آسایش و دیگر پارامترها مقایسـه کردند. همینطور ایشان بررسی کردند که چه کسـانی و به چه دلایلی از سـرویس‌های اشـتراک سـواری استفاده می‌کنند (Rayle et al.,2016).

Fahnenschreiber و همکاران راننده و مسـافرهای نزدیک مسـیر، مبدا، مقصـد و زمان حرکت را پیشـنهاد می دادند و سیستم، تغییرات در مسیر اصلی و اولیه راننده را می‌سنجد و با ترکیب مسـیرها و ارزیابی سـفرهای راننده و مسـافر به اطلاع راننده می‌رسـاند تا اگر اضافه مسیر را قبول کرد به اطلاع مسافر رسـانده و آن‌ها را سـوار کند. آن‌ها همچنین مسـیریابی چند سـاختی را نیز با این سـیستم اشتراک‌گذاری سفر ترکیب کردند به‌گونه‌ای که یک مسـافر مسـیر خود را به چند بخش تقسـیم می‌کرد و بخشی را با خودرو و به صورت اشتراکی انجام می‌داد و بخشی را نیز با استفاده از مترو یا اتوبوس انجام می‌داد. نتایج نشان از بهبود سفرها نسبت به حالت اولیه (اشتراک‌گذاری سفر پویا) داشت (Fahnenschreiber et al., 2016).

همانطور که مشـاهده شـد مسـئله اشتراک سفر، موضوع جذابی اسـت کـه محققـان زیـادی به آن توجه کرده و الگوریتم‌های مختلفی را برای حـل آن بکـار برده‌انـد. اما در هیچ یک از آنها، حداکثر زمان معطلی که افراد برای حذف سـفر انفرادی و انجام سـفر گروهی صـبر می‌کنند مطرح نشـده اسـت. در واقع نوآوری‌هـای این تحقیق به این صـورت اسـت که علاوه بر سـاختار ابتکاری توسعه داده شده برای جواب الگوریتم ژنتیک که در تحقیقاتی که این الگوریتم را بکار برده‌اند استفاده نشـده اسـت، بیشـینه زمان معطلی هر مسـافر در هنگام سـاخت سـفر اشتراکی در هر تاکسی بعنوان یک قید در نظر گرفته شده است.

۳. زنجیره پردازشی توسعه یافته

پس از ارائـه مقدمات لازم زنجیره پردازشـی نهایی و در واقع روش انجام پژوهش با جزئیات در این قسمت تشریح می‌شود.

۳-۱ الگوریتم ژنتیک

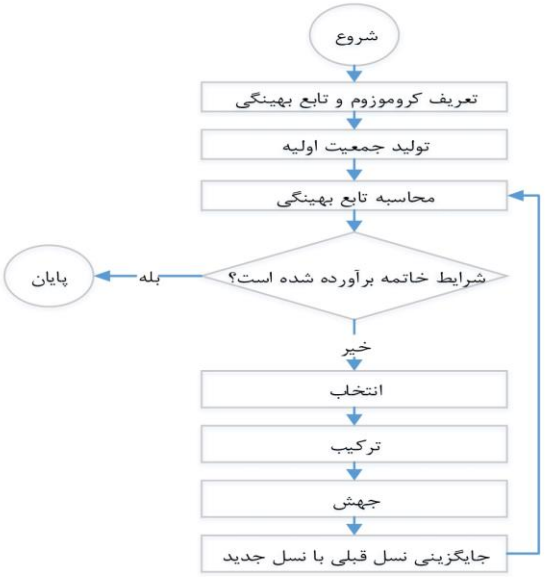
سـاختار الگوریتم ژنتیک از طبیعت الهام گرفته شده است و در حل موضـوعات گوناگون بهینه‌سـازی به کار گرفته می‌شود. در طبیعت هنگام تغییر نسل‌ها، از ترکیب کروموزوم‌های با کیفیت، نسـل‌هـای بهتری بوجود می‌آینـد. همچنین ممکن اسـت جهش‌هایی نیز در کروموزوم‌ها رخ داده که منجر به بهتر شـدن نسل بعدی شوند(Sivanandam and Deepa, 2007).

مرحله اول در حل مسـئله بهینه‌سازی به کمک الگوریتم ژنتیک تشکیل جمعیت اولیه می‌باشد. جمعیت اولیه از تعداد مشخصی کروموزوم تشـکیل می‌گردد که این تعداد با توجه به گستردگی فضـای محاسباتی تعیین می‌شود. با توجه به اینکه مسئله مطرح شـده در این تحقیق همان مسـئله مسـیریابی متوالی می‌باشد هر کروموزوم از نقطه شـروع سـفر به همراه مجموعه‌ای از نقاط شـبکه تشـکیل شـده اسـت. به منظور سـاخت کروموزوم‌های متفاوت تشـکیل‌دهنده جمعیت اولیه، ابتدا نقطه شـروع سفر در اولین خـانـه کروموزوم قرار می‌گیرد. حـال از مجموعـه نقـاط باقی‌مانده که مجموعه تمامی نقاط شـبکه می‌باشـد یک نقطه انتخاب می‌گردد. پس از انتخاب نقطه جدید فاصـله بین مرکز نقطه قبلی (یا نقطه شـروع) تا این مرکز محاسـبه می‌شود و این مراحل تا رسیدن به نقطه موردنظر پایان مسیریابی ادامه می‌یابد.

با روش گفته شده تعداد مشخصی جواب یا کروموزوم ایجاد می‌شود. با تعیین جمعیت اولیه مرحله بعدی تعیین میزان تناسب هر یک از کروموزوم‌های تشکیل شده می‌باشد که برای این منظور باید از یک تابع بهینگی استفاده کرد. پس از تعیین تابع تناسب برای هر یک از کروموزوم‌های جمعیت اولیه، این کروموزوم‌ها بر اساس میزان تناسب (مقدار تابع تناسب) مرتب می‌شود و توسط عملگر انتخاب، بهترین جواب‌های نسل حاضر بدون تغییر به نسل بعد منتقل می‌شوند که «جمعیت نخبه» نام دارند.

این الگوریتم از سه عملگر انتخاب، ترکیب و جهش برای یافتن و بهینه‌سازی جواب استفاده می‌کند. همانطور که در قسمت تولید جمعیت اولیه گفته شد عملگر انتخاب کروموزوم‌هایی را از میان جواب‌های موجود برای ترکیب شدن انتخاب می‌کند. بدیهی است کروموزوم‌های با تابع بهینگی بهتر، شانس بیشتری برای انتخاب شدن دارند [Lipowski and Lipowski, 2012].

در نهایت پس از تعداد تکرار مشخص نزدیک‌ترین جواب به جواب قطعی مسئله محاسبه می‌شود. فلوچارت الگوریتم ژنتیک در شکل ۱ نمایش داده شده است.



شکل ۱. فلوچارت الگوریتم ژنتیک

در این پژوهش از یک روش ترکیبی شامل الگوریتم ژنتیک برای اعمال شرط‌ها برای اشتراک‌گذاری و پیدا کردن کاندیداها برای عمل اشتراک‌گذاری سفر و ابزار تحلیل شبکه برای تعیین هزینه مسیر استفاده می‌شود. اگر فرض شود که ٤ صندلی در تاکسی وجود دارد و ۵۰۰ مسافر در کل وجود داشته باشد به تعداد ۵۰۰*٤٩٩*٤٩٨*٤٩٧ حالت مختلف برای نشستن در تاکسی وجود دارد که معادل ٦١٧٥٢٧٤٧٠٠٠ جواب مختلف است. بنابراین برای انتخاب جواب بهینه از بین میلیاردها جواب ممکن نمی‌توان از روش‌های ریاضی استفاده نمود و نیاز به استفاده از الگوریتم‌های فراابتکاری است تا بتواند با استفاده از یک سری ترفندها به سرعت در فضای مجموعه جواب به دنبال جواب بهینه بگردد.

بنابراین برای پیدا کردن نحوه چینش مسافران از الگوریتم ژنتیک استفاده خواهد شد. به این صورت که یک آرایه به طول ظرفیت تاکسی تعریف می‌شود و ژن‌های آن همان مبداها و مقصدها خواهد بود. این مبداها و مقصدها با استفاده از تابع تولید عدد تصادفی انتخاب شده و درون کروموزوم قرار می‌گیرند و یک جواب برای اشتراک سفر تشکیل می‌دهند. البته باید اضافه کرد که شرط زمان معطلی مسافران پس از ایجاد کروموزوم اعمال می‌شود و در صورتی آرایه تشکیل می‌شود که مسافران آن با توجه به زمان معطلی اعلام شده به موقع به مقصد مورد نظر می‌رسند. به همین ترتیب آرایه‌های دیگر به نمایندگی از تاکسی‌ها تشکیل شده و از کنار هم قرار گرفتن این آرایه‌ها یک ماتریس که جواب مسئله است ایجاد می‌شود که حکم کروموزوم (جواب) در الگوریتم ژنتیک را دارد.

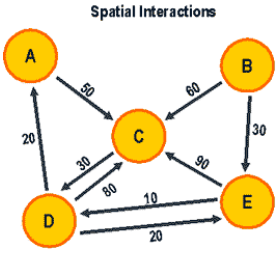
تابع بهینگی الگوریتم ژنتیک در این مسئله همان طول مسیر اشتراکی است. به این صورت که پس از تشکیل آرایه و اعمال شرط‌های زمانی، طول مسیری که همه مسافران باید طی کنند توسط ماتریس هزینه و ابزار تحلیل شبکه اندازه‌گیری می‌شود و جواب‌ها به ترتیب صعودی مرتب می‌شوند تا از بین آن‌ها کروموزوم‌های والد برای نسل بعد انتخاب شود. دو عملگر

ترکیب و جهش نیز به این صورت اجرا می‌شوند که برای عملگر ترکیب تعدادی از کروموزوم‌های انتخابی برای این عملگر از وسط دو تکه شده و نصف یک جواب با نصف یک جواب دیگر ترکیب شده و کروموزوم جدیدی ایجاد می‌شود. همچنین در عملگر جهش یک مبدا و مقصد(مسافر) از کروموزوم حذف می‌شود و یک مبدا و مقصد دیگر به صورت تصادفی جایگزین خواهد شد.

۳-۲ ماتریس هزینه شبکه

اولین گام در مدل توسعه یافته، ورود داده‌ها به مدل می‌باشد. ابتدا شبکه راه‌های منطقه مطالعاتی شامل گره‌ها و یال‌ها وارد مدل می‌شوند. سپس اطلاعات سفر مسافران شامل مبدا و مقصد سفر، زمان درخواست سفر و معطلی وارد مدل می‌شود. همچنین نقاط مبدا تاکسی‌ها نیز که مانند مبدا و مقصد مسافران به صورت نقطه‌ای است وارد مدل توسعه یافته می‌شوند.

پس از این مرحله باید ماتریس هزینه مبدا-مقصد بین تمامی این نقاط ایجاد شود. ماتریس هزینه در واقع هزینه شبکه را مشخص می‌کند [Van Zuylen and Willumsen, 1980]. هنگامی که عنصری از یک شبکه عبور می‌کند، مقداری هزینه در بر دارد که همان هزینه شبکه است (شکل ۲). به عنوان مثال: مسیر یک شهر تا شهر دیگر ممکن است هزینه‌ی شبکه‌ای ٤٥ کیلومتری را داشته باشد. هزینه شبکه می‌تواند هر چیزی باشد اما عموماً مسافت یا زمان طی مسیر است. برای استفاده در یک تحلیل شبکه‌ای، یک مجموعه داده شبکه‌ای باید حداقل یک مشخصه هزینه داشته باشد؛ زیرا تحلیل‌های شبکه همیشه مقداری هزینه را بهینه‌سازی می‌کنند.



O/D Matrix

	A	B	C	D	E	Ti
A	0	0	50	0	0	50
B	0	0	60	0	30	90
C	0	0	0	30	0	30
D	20	0	80	0	20	120
E	0	0	90	10	0	100
Tj	20	0	280	40	50	390

شکل ۲. نمونه ماتریس هزینه مبدا مقصد

چهار ماتریس هزینه مبدا-مقصد مورد نیاز عبارتند از:

- هزینه بین مبدا تمامی مسافران
- هزینه بین مقصدهای مسافران
- هزینه بین مبداها و مقصدهای مسافران
- هزینه بین مبداهای مسافران و مبدا تاکسی‌ها

ماتریس هزینه بین مبدا تمامی مسافران به این معنی است که هزینه سفر بین مبدا مسافران (نقطه شروع همگی آن‌ها) به دست بیاید. چرا که در سفر اشتراکی پس از سوار شدن مسافر اول(حرکت از مبدا مسافر اول) به سمت مبدا مسافر(ان) دیگر حرکت می‌کنیم. بنابراین باید هزینه سفر از مبدا یک مسافر به مبدا مسافر دیگر مشخص باشد. ماتریس بعدی، ماتریس هزینه بین مقصد تمامی مسافران است و در واقع هزینه سفر بین مقصد مسافران یا همان نقطه پایان همگی آن‌ها را مشخص می‌کند. چرا که در سفر اشتراکی پس از به مقصد رسیدن یکی از مسافران(پایان سفر یک مسافر) به احتمال زیاد به دنبال مقصد مسافر(ان) بعدی حرکت می‌کنیم. بنابراین باید هزینه سفر از مقصد یک مسافر به مقصد مسافر دیگر مشخص باشد.

سومین ماتریس، ماتریس هزینه بین مبدا و مقصد مسافران به این معنی است که هزینه سفر بین مبدا و مقصد هر یک از مسافران نسبت به بقیه به دست بیاید. چرا که در سفر اشتراکی پس از سوار شدن یک یا چند مسافر ممکن است قبل از سوار کردن مسافر دیگر، یکی از مسافران فعلی را به مقصد رسانده و پیاده کنیم. بنابراین باید هزینه سفر از مبدا هر مسافر به مقصد دیگران مشخص باشد. آخرین ماتریس، ماتریس هزینه بین مبدا مسافران و مبدا تاکسی‌ها است و به این معنی است که هزینه حرکت هر تاکسی از محل استقرار خود به سمت هر مسافر(مبدا شروع سفر آن) مشخص می‌شود. دلیل ایجاد این ماتریس این است که در تصمیم‌گیری این که برای شروع سفر یک مسافر خاص کدام یک از تاکسی‌ها اقدام کند باید هزینه سفر بین تاکسی‌ها و مسافر مشخص باشد تا نزدیک‌ترین تاکسی انتخاب شود. در شکل ۳ ساختار این ماتریس‌ها مشاهده می‌شود.

	D_1	D_2	...	D_n
D_1				
D_2				
...				
D_n				

	O_1	O_2	...	O_n
O_1				
O_2				
...				
O_n				

	O_1	O_2	...	O_n
T_1				
T_2				
...				
T_n				

	D_1	D_2	...	D_n
O_1				
O_2				
...				
O_n				

شکل ۳. الف) هزینه بین مبداها ب) هزینه بین مقصدها ج) هزینه بین مبداها و مقصدها د) هزینه بین تاکسی‌ها و مبداها

۳-۳ الگوریتم انتخاب مسافران و تناظریابی سفرهای مشابه

در این بخش ساز و کار انتخاب مسافران برای سفر اشتراکی توسط الگوریتم ژنتیک تشریح می‌شود. الگوریتم ژنتیک این امکان را فرآهم می‌کند که جواب‌های گوناگون و تصادفی را ساخته و از بین آن‌ها به جست و جوی جواب بهینه در میان فضای مجموعه جواب بسیار گسترده پرداخت.

۳-۳-۱ ساخت کروموزوم

اولین گام در الگوریتم ژنتیک ساخت و تولید کروموزم و یا همان جواب است. هنگام استفاده از الگوریتم ژنتیک باید به درستی ساختار مسئله را بر اساس ساختار الگوریتم منطبق کرد. بنابراین ساختار کروموزوم‌ها به صورت زیر انجام می‌شود.

در این مسئله ژن‌های هر کروموزوم ترکیبی از نقاط مبدا(O) یا مقصد(D) مسافران خواهد بود که در کروموزوم کنار یکدیگر به صورت تصادفی چیده خواهند شد و یک کروموزوم را ایجاد می‌کنند. از آنجا که ظرفیت هر تاکسی ٤ نفر است و می‌تواند ٤ نفر را سوار کرده و به مقصد برساند طول هر ژن ۸ واحد خواهد بود. چرا که هر مسافر دارای یک مبدا و یک مقصد است بنابراین ٤ مسافر در یک تاکسی، یک ژن در کروموزوم ایجاد خواهند کرد. با فرض نامیدن ٤ مسافر به نام‌های w، x، y و z ، به عنوان مثال ساختار یک ژن می‌تواند به صورت زیر باشد (شکل ٤):

O_x	O_z	O_w	D_z	D_w	O_y	D_x	D_y

شکل ٤. ساختار ژن در الگوریتم ژنتیک به کار گرفته شده

شکل ٤ یک سطر (ژن) از کروموزوم و جواب کلی را نشان می‌دهد. در واقع جواب اصلی مسئله یک ماتریس است که هر سطر آن نمایش دهنده‌ی یک تاکسی است (ژن) و کل ماتریس که همه تاکسی‌ها را نشان می‌دهد جواب اصلی است (کروموزوم) که در آن چینش تمامی مسافرانِ موجود در شبیه‌سازی را تعیین می‌کند. بنابراین ساختار جواب کلی به شکل زیر است (شکل ٥):

تاکسی ۱	O_x	O_z	O_w	D_z	D_w	O_y	D_x	D_y
تاکسی ۲	O_p	O_f	D_p	O_h	O_i	D_h	D_p	D_i
...								
تاکسی n	O_t	D_t	O_b	O_g	O_k	D_b	D_b	D_k

شکل ٥. ساختار جواب کلی مسئله (کروموزوم)

لازم به ذکر است که برای ایجاد ژن‌ها چند شرط باید در نظر گرفته شود:

همیشه اولین نقطه در ژن از میان مبداها انتخاب شود. چرا که در هر سفر باید ابتدا به دنبال یک مسافر رفت تا شروع شود.

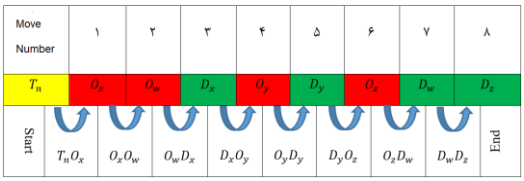
برای هیچ مسافری نمی‌توان قبل از قراردادن مبدا، مقصد آن مسافر را منظور کرد چرا که طبیعتا ابتدا باید مسافر را از مبدا سوار کرد و سپس در مقصد پیاده کرد.

این شرط یک شرط مشترک در بخش قابل توجهی از مسائل است. یک ژن پس از انتخاب و قرارگیری در کروموزوم، از لیست ژن‌های قابل انتخاب حذف می‌شود. به بیان دیگر در یک

کروموزوم ژن تکراری قابل قبول نیست. چرا که یک مسافر دو بار در یک تاکسی و یا در دو تاکسی قرار نمی‌گیرد.

شرط آخر مهم‌ترین شرط در هنگام ساخت جواب‌ها است و مربوط به پارامتر "زمان معطلی" مسافران می‌شود. به این معنی که مسافرانی که خواهان سفر اشتراکی هستند یک زمانی را بعنوان حداکثر زمان معطلی برای استفاده از سرویس اشتراکی معرفی می‌کنند که اگر زمان سفر اشتراکی از مجموع زمان سفر تکی و زمان معطلی کمتر باشد این عمل اجرا شود. برای اجرای این شرط پس از ساخت هر کروموزوم، برای هر مسافر زمان سفر اشتراکی از ابتدای آن، یعنی ژن اول تا جایگاه ژنی که برای مقصد مسافر در نظر گرفته شده است محاسبه می‌شود و با مجموع زمان سفر اشتراکی و زمان معطلی مقایسه می‌شود و اگر زمان سفر اشتراکی بیشتر بود این سفر برای مسافر در نظر گرفته نمی‌شود و کروموزوم حذف می‌شود.

شرط آخر با یک مثال تشریح می‌شود. یک ژن با مسافران x، y، w و z فرض می‌شود و در شکل ٦ نمایش داده می‌شود. تاکسی با رنگ زرد، مبداها با رنگ قرمز و مقصدها با رنگ سبز هستند.



شکل ٦. هزینه‌های سفر برای اعمال شرط معطلی در ژن

بعنوان مثال شرط معطلی برای مسافر y که در حرکت چهارم سوار تاکسی شده و در حرکت پنجم پیاده شده است، بررسی می‌شود. در واقع این مسافر زمانی را منتظر مانده است تا تاکسی n از موقعیت ٠ شروع به حرکت کرده و ابتدا مسافران x و w را سوار کرده است، مسافر x را در حرکت سوم پیاده کرده و سپس به مبدا این مسافر رسیده است. پس تا قبل از سوار شدن مسافر y، ٣ حرکت انجام شده و در حرکت چهارم سوار شده است که در این حین زمانی سپری شده و مسافر y منتظر مانده است. سپس تاکسی حرکت کرده و در حرکت پنجم مسافر y به مقصد می‌رسد و سفرش که در واقع سفر اشتراکی است به پایان می‌رسد. در اینجا برای اعمال شرط آخر، زمان سفر از حرکت ٠ تا حرکت پنجم محاسبه می‌شود و این زمان با مجموع زمان سفر انفرادی خودش (که اگر درخواست سفر اشتراکی انجام نمی‌داد و با یک تاکسی m که در نزدیکی آن است سفر می‌کرد) و حداکثر زمان معطلی (زمان معطلی + زمان سفر انفرادی) مقایسه می‌شود و اگر کمتر بود وقوع سفر اشتراکی برای این مسافر تایید می‌شود. این شرط با توجه به اطلاعات شکل ٦ بر اساس رابطه ١ خواهد بود:

$$T_nO_x + O_xO_w + O_wD_x + D_xO_y + O_yD_y < T_mO_y + O_yD_y + \text{زمان معطلی} \quad (١)$$

این شرط برای همه مسافران دیگر هم اعمال می‌شود و اگر همگی مورد تایید بودند سفر اشتراکی انجام می‌شود و این ژن اجازه ساخت نهایی پیدا می‌کند.

با در نظر گرفتن پارامتر حداکثر زمان معطلی در محاسبات این تحقیق، بحث رضایت کاربران بوسیله شرط بیان شده در رابطه ١ در نظر گرفته می شود و اگر شرط حداکثر زمان معطلی قابل تحمل توسط مسافر رعایت نشود سفر اشتراکی انتخاب نمی‌شود، به این ترتیب رضایت کاربران به طور کامل حاصل می‌شود.

٣-٣-٢ تابع بهینگی

در هر مسئله‌ای که در آن از الگوریتم ژنتیک استفاده شود باید با توجه به ساختار مسئله تابع بهینگی تعریف شود. مقدار تابع بهینگی به عبارتی همان احتمال ترکیب برای تولید نسل‌های بعدی است. بنابراین کروموزوم‌های بهینه شانس بیشتری برای ترکیب با دیگر کروموزوم‌ها دارند. در اکثر مسائل مسیریابی که الگوریتم ژنتیک به کار گرفته می‌شود کوتاه‌تر شدن مسیر مورد نظر و یا کم شدن زمان سفر تابع بهینگی را تعریف می‌کند.

در این مسئله تابع بهینگی بر این اساس تعریف می‌شود که وقتی که قرار است چند سفر تکی تجمیع شود و با یک سفر جایگزین شود باید دقت کرد که چون تاکسی از مسیر اولیه خود(برای مسافر اول) منحرف می‌شود تا به دنبال مسافر(ان)

دیگر برود و آن‌ها را نیز همراه خود ببرد پس در مجموع احتمال این که طول سفر اشتراکی از طول سفرهای تک تک بیشتر شود زیاد است بنابراین تابع بهینگی در مسئله اینگونه تعریف می‌شود که باید اختلاف طول سفر اشتراکی و جمع طول سفرهای تکیِ تشـــکیـل دهنده باید کمینه شـــود. در واقع در مرحله انتخاب کروموزوم‌ها برای شـرکت در تولید نسل آینده، کروموزوم‌هایی انتخاب می‌شود که اختلاف طول سفر اشتراکی کمتری نسبت به مجموع طول سفرهای تکی داشته باشند.

۳-۳-۳ عملگر انتخاب

وظیفه این عملگر انتخاب کروموزوم‌هایی برای ترکیب شدن از نسـل حاضر است. کروموزوم‌های با تابع بهینگی بیشتر، شانس بیشتری برای انتخاب شدن دارند. در واقع پس از محاسبات هر نسـل و مقدار تابع بهینگی برای همه کروموزوم‌ها، کروموزوم‌ها بر اساس مقدار تابع بهینگی چیده می‌شوند و تعدادی از آن‌ها به عنوان نخبه انتخاب می‌شوند. این گروه دارای بهترین جواب در کل جمعیت اولیه هســـتند. تعداد ۱۰ درصـــد بهترین جواب‌ها توسـط این عملگر مستقیما برای شرکت در مرحله بعد انتخاب می‌شـوند. اما بین بقیه کروموزوم‌ها بر اساس میزان تابع بهینگی والدها انتخاب شده تا روی آن‌ها اقدام به ترکیب می‌شود.

۳-۳-٤ عملگر ترکیب (ادغام)

همانطور که گفته شـــد این عملگر کروموزوم‌های والد را با هم ترکیب می‌کند تا شـاید کروموزوم‌های فرزند حاصل از ترکیب، از کروموزوم‌های والد بهینه‌تر باشد. معمولا این عملگر روی دو کروموزوم عمل می‌کند و یک یا دو فرزند تولید می‌شود. روش عملکرد این عملگر به این صـــورت اســـت که دو کروموزوم از میـان والـدهـا انتخـاب شـــده و هر کروموزوم از یـک محـل مشـــخص(یکی از ژن‌ها یا بعبارتی از یکی از ســـطرها) به دو قســـمت تقســـیم می‌شـــوند و هر بخش از یک کروموزوم بجای بخش دیگر در کروموزوم دیگر قرار می‌گیرد به این صورت دو کروموزوم جدید ایجاد می‌شـود. مفهوم عملگر ترکیب در شکل ۷ مشاهده می‌شود(یک مثال با کروموزومی شامل ٤ تاکسی).

کروموزوم(جواب) اول

O_{17}	O_2	D_{17}	D_2	O_{403}	O_{112}	D_{403}	D_{112}
O_7	O_{55}	O_{172}	D_{55}	O_{200}	D_7	D_{200}	D_{172}
O_8	O_{80}	O_{88}	D_{80}	O_{108}	D_{88}	D_8	D_{108}
O_1	O_{20}	O_{33}	O_{303}	D_{20}	D_{303}	D_1	D_{20}

کروموزوم(جواب) دوم

O_{107}	O_{12}	D_{107}	D_{12}	O_{43}	O_{126}	D_{43}	D_{126}
O_{18}	O_{85}	O_{72}	D_{85}	O_{290}	D_{18}	D_{290}	D_{72}
O_{83}	O_{81}	O_{58}	D_{81}	O_{198}	D_{83}	D_{58}	D_{198}
O_{61}	O_{120}	O_{133}	O_{75}	D_{120}	D_{75}	D_{61}	D_{120}

اعمال عملگر ترکیب از وسط کروموزوم‌ها(تعویض سطرهای سوم و چهارم ماتریس‌ها با هم)

کروموزوم جدید ۲

O_{107}	O_{12}	D_{107}	D_{12}	O_{43}	O_{126}	D_{43}	D_{126}
O_{18}	O_{85}	O_{72}	D_{85}	O_{290}	D_{18}	D_{290}	D_{72}
O_8	O_{80}	O_{88}	D_{80}	O_{108}	D_{88}	D_8	D_{108}
O_1	O_{20}	O_{33}	O_{303}	D_{20}	D_{303}	D_1	D_{20}

شکل ۷. طرح مفهومی عملگر ترکیب

۳-۳-۵ عملگر جهش

برای جلوگیری از همگرایی بـه بهینه محلی(گیر کردن جواب‌ها در یـک قسـمت از فضـای مجموعه جواب) و ایجاد تنوع و گوناگونی در جمعیت با اسـتفاده از عملگر جهش یک تعداد از کروموزوم‌هـای بـه دسـت آمـده از عملگر ترکیـب تغییر داده می‌شوند. در اینجا پارامتر نرخ جهش مطرح می‌شود که مشخص می‌کند چند درصـد از کروموزوم‌های حاصل از عملگر ترکیب، می‌تواننـد جهش پیـدا کننـد. بـه عنوان مثال ۱۵ یا ۲۰ درصـد کروموزوم‌های ایجاد شده از عملگر ترکیب به صورت تصادفی انتخاب شده و عملگر جهش روی آن‌ها اجرا می‌شود. برای این منظور در هر کروموزوم انتخاب شـده، یک(یا چند) ژن به طور تصـادفی انتخاب شـده و با یک(یا چند) ژن دیگر(از کل ژن‌ها) تعویض می‌شوند. به این ترتیب به یک باره جواب‌های جدیدی ایجاد می‌شـود که اصـطلاحا به یک قسـمت دیگر از مجموعه جواب مسـئله جهش می‌کنند. مفهوم عملگر جهش در شـکل ۸ مشـاهده می‌شـود. البته دقت شـود که در این مسئله باید جفت مبدا و مقصـد یک مسافر از کروموزوم انتخاب و تعویض شود. در این مرحله نیز پس از تولید کروموزوم‌های جدید شـرط‌های چهارگانه مطرح شده در ساخت کروموزوم اعمال می‌شود.

کروموزوم انتخابی

O_{17}	O_2	D_{17}	D_2	O_{403}	O_{112}	D_{403}	D_{112}
O_7	O_{55}	O_{172}	D_{55}	O_{200}	D_7	D_{200}	D_{172}
O_{83}	O_{81}	O_{58}	D_{81}	O_{198}	D_{83}	D_{58}	D_{198}
O_{61}	O_{120}	O_{133}	O_{75}	D_{120}	D_{75}	D_{61}	D_{120}

اعمال عملگر جهش روی یک سطر

کروموزوم جدید

O_{17}	O_2	D_{17}	D_2	O_{403}	O_{112}	D_{403}	D_{112}
O_7	O_{55}	O_{172}	D_{55}	O_{200}	D_7	D_{200}	D_{172}
O_{201}	O_3	O_{555}	D_3	O_{77}	D_{201}	D_{555}	D_{77}
O_{61}	O_{120}	O_{133}	O_{75}	D_{120}	D_{75}	D_{61}	D_{120}

شکل ۸ طرح مفهومی عملگر جهش روی یک ژن (سطر)

بنـابراین و به طور کلی در هر حلقه اجرای الگوریتم تعدادی از جواب‌ها به عنوان نسـل نخبه (که دارای بهترین مقدار بهینگی هسـتند) بدون تغییر مسـتقیما به نسـل بعد منتقل می‌شـوند، تعدادی کروموزوم با اسـتفاده از عملگر ترکیب از روی والدها (بقیه کروموزوم‌ها بجز نسـل نخبه) سـاخته شده و به نسل بعد منتقل می‌شـوند، تعدادی نیز با اسـتفاده از عملگر جهش روی کروموزوم‌های ترکیب شده ایجاد می‌شوند و به نسل بعد منتقل می‌شوند. بنابراین در هر اجرا جواب‌های جدیدی ایجاد می‌شود و تابع بهینگی آن‌ها بررسی می‌شود. در الگوریتم ژنتیک پس از چنـدین اجرا جواب‌هـای بهینـه بـه دسـت می‌آید و الگوریتم متوقف می‌شود. شرط توقف می‌تواند به سه شکل باشد:

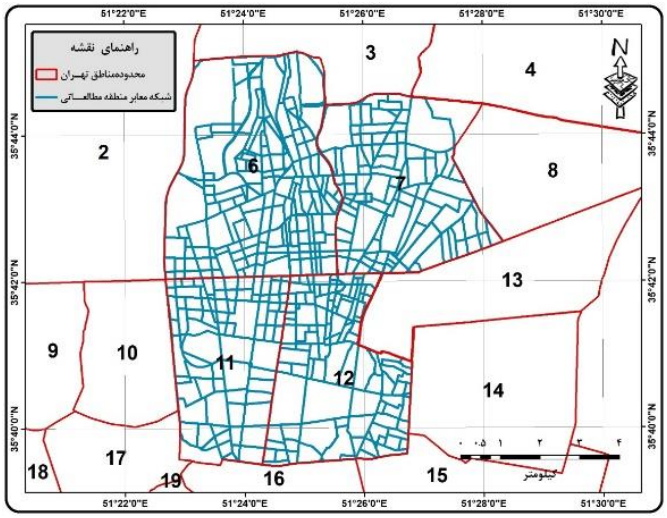
۱. اجرای الگوریتم به تعداد دلخواه (به عنوان مثال ۱۰۰ تکرار)
۲. رسیدن مقدار تابع بهینگی به یک مقدار مورد نظر
۳. کوچک‌تر شدن اختلاف جواب‌ها از یک عدد کوچک(σ).

در این پژوهش از روش سـوم برای شـرط توقف در الگوریتم اسـتفاده می‌شـود و پس از اجرای هر حلقه محاسـبات اگر جواب‌های بهینه اختلاف ناچیزی با یکدیگر داشـتند الگوریتم متوقف شـده و بهترین جواب به عنوان جواب مسـئله معرفی می‌شـود. عنوان جمع‌بندی باید اشـاره شـود که برای تولید هر نسـل ۲۰ درصـد از نخبه‌های نسـل قبل اسـتفاده می‌شـود. ۲۰ درصـد جمعیت جدید ایجاد می‌شود، ٦۰ درصد باقیمانده نیز از عملگرهای ترکیب و جهش از روی والدها سـاخته می‌شوند. از این تعداد نرخ جهش ۱۰ درصد است و به عبارتی ۱۰ درصد از کروموزوم‌های ساخته شده از عملگر ترکیب، جهش می‌یابند.

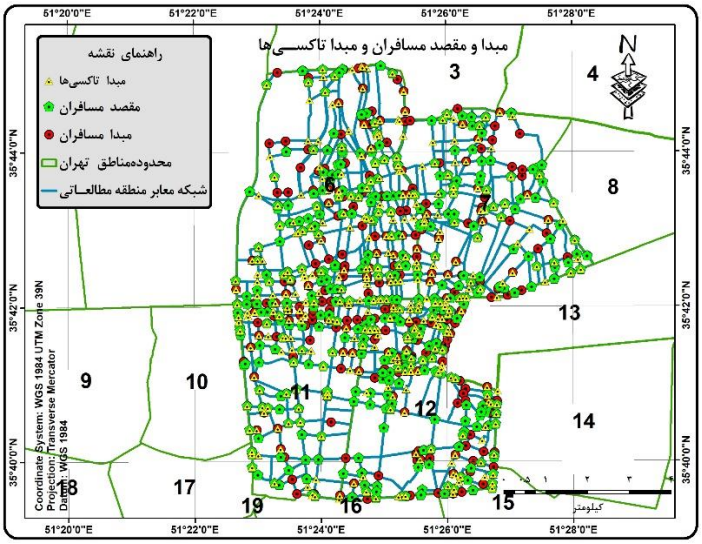
٤. پیاده‌سازی و اجرا

برای پیاده‌سـازی، شـبکه راه‌های اصلی شهر تهران در مناطق ٦، ۷، ۱۱ و ۱۲ انتخاب شد (شکل ۹). دلیل عدم انتخاب کل شهر، محدودیت امکانات سخت افزاری که توان پردازش ترافیک کل شهر و میلیون‌ها خودرو را ندارد، می‌باشد. البته مدل حاضر یک روش برای اشـتراک‌گذاری سـفر اسـت که در صورت موفقیت می‌تواند روی ترافیک کل شهر آزمایش شود.

این شبکه دارای ۱۴۵۰ یال و ۹۸۷ گره می‌باشد که با استفاده از تابع تولید عدد تصادفی تعداد ۵۰۰ نقطه تصادفی به عنوان مبدا مسافران، ۵۰۰ نقطه تصادفی به عنوان مقصد و ۵۰۰ نقطه دیگر به عنوان مبدا تاکسی‌ها انتخاب شد (شکل ۱۰). البته زمان درخواست سفر این مسافران متفاوت است و احتمال تولید دو مسافر با مبدا و مقصد مشابه کم است. همانطور که گفته شد تولید مبدا و مقصدها به صورت تصادفی بوده و به عنوان مثال ممکن است مبدا مسافر ۱۱۱۹ام در شمال غربی نقشه و مقصد آن در جنوب باشد. همچنین علاوه بر مختصات مبدا و مقصد مسافران، دو پارامتر دیگر عبارتند از: زمان درخواست سفر و حداکثر زمان معطلی برای اشتراک‌گذاری. برای تولید این اعداد نیز از تابع تصادفی استفاده شد. برای تولید اعداد مربوط زمان درخواست سفر مسافران، اعدادی بین ۱ تا ۱۰ دقیقه تولید شد. چرا که فرض شده است که هر ۱۰ دقیقه اطلاعات ارسالی درخواست‌های مسافران به سامانه ارسال و در این بازه امکان اشتراک‌گذاری سفر بین مسافران بررسی می‌شود. همچنین اعداد تصادفی بین ۵ تا ۱۵ دقیقه نیز برای میزان حداکثر زمان معطلی برای قبول سفر اشتراکی برای مسافران تولید شد.



شکل ۹. منطقه مطالعاتی پژوهش



شکل ۱۰. موقعیت مبدا و مقصد مسافران و مبدا تاکسی‌ها

برای محاسبه هزینه سفرهای اشتراکی نیاز به ماتریس‌های هزینه بین مبداهای مسافران، مقصدها، مبداها و مقصدهای مسافران و تاکسی‌ها و مبدا مسافران است. برای این منظور از ابزار تحلیل شبکه در نرم‌افزار ArcGIS تولید شد.

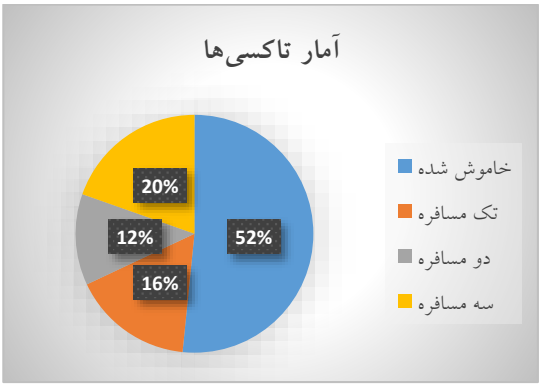
پس از تولید داده‌های مورد نظر، روش پیشنهادی که بر روی این داده‌ها پیاده‌سازی می‌شود. لازم به ذکر است برای پیاده‌سازی و برنامه‌نویسی مدل توسعه داده شده از محیط برنامه‌نویسی Microsoft Visual Studio و زبان C# استفاده شده است. همچنین برای پیاده‌سازی الگوریتم ژنتیک از هیچ ابزار آماده‌ای استفاده نشده و تمامی الگوریتم و مدل به صورت سفارشی‌سازی شده، برنامه‌نویسی شده است. اجرای کل الگوریتم و همگرایی آن در یک کامپیوتر شخصی حدود ۳۰ دقیقه زمان برده است که اگر این برنامه بر روی کامپیوترهای سرور پیاده‌سازی شود قطعا زمان بسیار کمتری نیاز خواهد داشت به نحوی که با در نظر گرفتن زمان معطلی هر کاربر کاملا قابل اجرا و منطقی به نظر می رسد.

قبل از ارائه نتایج لازم به مروری کوتاه بر سناریوی اجرا شده می‌باشد. در حالت عادی هر یک از ۵۰۰ مسافر درخواست سفر خود را ارائه می‌کنند و با یک خودرو جابجا می‌شوند (روش مورد استفاده در سرویس‌های تاکسی اینترنتی مانند اسنپ، تپسی و یا ماکسیم). همچنین این حالت شبیه به سفر با خودروهای شخصی نیز می‌باشد. اما در سناریوی طراحی شده، با بررسی زمان درخواست سفر مسافران و حداکثر میزان زمان معطلی آن‌ها برای اشتراک‌گذاری سفر با دیگران، تعدادی از این ۵۰۰ تاکسی (که در حالت عادی برای هر مسافر یک تاکسی در نظر گرفته شده است) خاموش شده و دیگر حرکت نمی‌کنند و بجای آن‌ها بعضی از تاکسی‌ها بیش از ۱ مسافر را جابجا می‌کنند. بدین ترتیب با پر شدن صندلی‌های خالی بعضی از تاکسی‌ها، تعدادی از آن‌ها خاموش شده و دیگر حرکت نمی‌کنند. نتایج تعداد تاکسی‌ها با مسافران مختلف، تاکسی‌های خاموش و آمار مسافر جابجا شده در هر نوع در جدول ۱ مشاهده می‌شود.

جدول ۱. آمار تفکیکی تاکسی‌ها و مسافرانِ حمل شده

نوع تاکسی	تعداد	درصد	تعداد و درصد مسافران	
خاموش شده	۲۵۸	٪ ۵۱/۶	٪ ۰	۰
تک مسافره	۸۲	٪ ۱۶/۴	٪ ۱۶/۴	۸۲
۲ مسافره	۶۲	٪ ۱۲/۴	٪ ۲۴/۸	۱۲۴
۳ مسافره	۹۸	٪ ۱۹/۶	٪ ۵۸/۸	۲۹۴

لازم به ذکر است که پس از اجرای الگوریتم هیچ سفر ۴ مسافره‌ای یافت نشد که دلیل آن قیدهای تعریف شده در مسئله می‌باشد که مهم‌ترین آن شرط زمان معطلی می‌باشد. به بیان دیگر، هیچ سفری تشکیل نشده است که در آن میزان تغییر مسیر مسافر چهارم کمتر از بیشینه زمان معطلی‌اش باشد. به منظور دید بهتر نسبت به این آمار، نتایج تحت نمودار دایره‌ای در شکل ۱۱ نمایش داده می‌شوند.



شکل ۱۱. نمودار دایره‌ای آمار تفکیکی تاکسی‌ها

۵. نتیجه‌گیری

در این مقاله به ارائه رویکردی جدید در اشتراک گذاری سفر بین مسافران با استفاده از الگوریتم ژنتیک در یک شبکه شهری پرداخته شد. پیاده سازی انجام شده نشان داد روش توسعه داده شده توانسته است حدود نیمی از تاکسیهای مسافربر را خاموش

و در واقع مسافران آنان را در بین تاکسی‌های دیگر پخش کند که صرفه‌جویی قابل توجهی در پی خواهد داشت. به این ترتیب بخش عظیمی از خودروهایی که دارای یک مسافر هستند خاموش شده و کمتر شاهد خودروهای تک مسافره خواهیم بود. این امر کمک شایانی به کاهش ترافیک شهری و در نتیجه آلودگی‌های هوا و صوتی خواهد کرد.

البته با توجه به بررسی مطالعات پیشین، هر الگوریتم بهینه‌سازی دیگری نیز انتخاب می‌شد می‌توانست تعدادی از تاکسی‌ها را خاموش کند، اما نوآوری این تحقیق روش توسعه داده شده در الگوریتم ژنتیک و استفاده از قید زمان معطلی می باشد که همزمان رضایت کاربران را نیز در محاسبات دخیل می کند. مطمئنا جواب بدست آمده باز هم قابلیت بهتر شدن دارد که در ادامه بیشتر توضیح داده می شود

در پایان پیشنهاداتی جهت بهبود و توسعه این پژوهش مطرح می‌گردد. اولا می‌توان از داده‌های واقعی درخواست سفر استفاده نمود که این کار نیازمند همکاری شرکت‌های تاکسی اینترنتی مانند تپسی و اسنپ است تا نتایج دقیق‌تری حاصل گردد. همچنین قویا پیشنهاد می‌گردد داده‌های ترافیکی شهری مورد استفاده قرار بگیرد که متاسفانه این امر در کشور ما به سختی قابل انجام است و سازمان‌ها با امنیتی تلقی کردن اکثر داده‌ها همکاری مناسبی با پژوهش‌گران نمی‌کنند.

همچنین اشتراک‌گذاری سفر به صورت پویا نیز موضوعی است که می توان در ادامه این تحقیق به آن پرداخت. به این صورت که هر تاکسی در حین سفر نیز مورد بررسی قرار گیرد تا اگر شرایط مسافران جدید و مسیر آنها مطلوب این تاکسی بود در میانه راه به این تاکسی اضافه شود. این امر کمک بیشتری در رسیدن به هدف اصلی مسئله خاموش شدن حداکثری تاکسی‌ها و خودروهای تک‌سرنشین می‌نماید.

٦. پی‌نوشت‌ها

1. meta-heuristic
2. Chromosome
3. Tabu search
4. Greedy Randomized Adaptive Search Procedure

۷. منابع

- شورورزی، ح.، نعیمی، ا. و طالعی، م. (۱۳۹۵) "بهینه سازی سیستم حمل و نقل ادارات با خوشه بندی به روش k میانگین و ترکیب الگوریتم saving و جستجوی ممنوع"، *فصلنامه مهندسی حمل و نقل. دوره هفتم، شماره چهارم، ۶۷۸-۶۶۵.*

- عباسی فام میاندوآب، سعید،(۱۳۹۳). "گسترش مشترک سواری در شبکه چند ساختی". کرمان: دانشگاه تحصیلات تکمیلی صنعتی و فناوری پیشرفته، پایان‌نامه کارشناسی ارشد.

- عربشاهی، الف.،بلوچ، ن. و بختیاری، ا. (۱۳۹۵) "بهبود دسترسی به سرویس اشتراک تاکسی بر اساس ارتباط بین کاربران و مرکز مدیریت سرویس"، هشتمین کنفرانس بین المللی فناوری اطلاعات و دانش، همدان ، دانشگاه بوعلی سینا.

- مطیعیان، ح.، مسگری، مح.، کارخانه، ن، و نعیمی، ا. (۱۳۹۱) "برنامه ریزی به اشتراک‌گذاری وسایل نقلیه توسط الگوریتم کلونی مورچه"، نشریه علمی-پژوهشی علوم و فنون نقشه‌برداری، دوره اول، شماره ٤، ٦٩-٧٦.

- معین فر، ر، و تشکری هاشمی، م. (۱۳۹۲) "اشتراک سواری: راهکاری برای مدیریت وآینده پژوهی جابه‌جایی در جوامع سالخورده"، سیزدهمین کنفرانس بین المللی مهندسی حمل و نقل و ترافیک، معاونت و سازمان ترافیک و حمل ونقل تهران.

- ملک‌پور، ر. (۱۳۹۳) "تلفیق محیط اطلاعات مکانی مردم گستر و خدمات سواری اشتراکی"، پایان نامه کارشناسی

ارشد، استاد راهنما: محمدرضا ملک، تهران: دانشکده ژئودزی و ژئوماتیک دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی.

– Fahnenschreiber, S., Gündling, F., Keyhani, M. H. and Schnee, M. (2016). "A multi-modal routing approach combining dynamic ride-sharing and public transport", Transportation Research Procedia, Vol. 13, pp. 176-183.

– Gorgoon, M. N., Davoodi, M., & Motieyan, H. (2019). AN AGENT-BASED MODELLING FOR RIDE SHARING OPTIMIZATION USING A* ALGORITHM AND CLUSTERING APPROACH. The International Archives of Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences, 42, 793-796.

– Lin, Y., Li, W., Qiu, F. and Xu, H. (2012). "Research on optimization of vehicle routing problem for ride-sharing taxi", Procedia-Social and Behavioral Sciences, Vol. 43, pp. 494-502.

– Lipowski, A. and Lipowska, D. (2012). "Roulette-wheel selection via stochastic acceptance", Physica A: Statistical Mechanics and its Applications, Vol. 391(6), pp. 2193-2196.

– Nourinejad, M. and Roorda, M. J. (2016). "Agent based model for dynamic ridesharing", Transportation Research Part C: Emerging Technologies, Vol. 64, pp. 117-132.

– Rayle, L., Dai, D., Chan, N., Cervero, R. and Shaheen, S. (2016). "Just a better taxi? A survey-based comparison of taxis, transit, and ridesourcing services in San Francisco", Transport Policy, Vol. 45, pp. 168-178.

– Santos, D. O. and Xavier, E. C. (2013, June). "Dynamic taxi and ridesharing: A framework and heuristics for the optimization problem", Twenty-Third International Joint Conference on Artificial Intelligence.

– Santos, D. O. and Xavier, E. C. (2015). "Taxi and ride sharing: A dynamic dial-a-ride problem with money as an incentive", Expert Systems with Applications, Vol. 42(19), pp. 6728-6737.

– Sivanandam, S. N. and Deepa, S. N. (2007, December). "A genetic algorithm and particle swarm optimization approach for lower order modelling of linear time invariant discrete systems", International Conference on Computational Intelligence and Multimedia Applications (ICCIMA 2007) (Vol. 1, pp. 443-447). IEEE.

– Van Zuylen, H. J. and Willumsen, L. G. (1980). "The most likely trip matrix estimated from traffic counts", Transportation Research Part B: Methodological, Vol. 14(3), pp. 281-293.

سمیرا رنگ ریز، درجه کارشناسی در رشته مهندسی نقشه برداری را در سال ۸۶ از دانشگاه تربیت دبیر شهید رجایی تهران و درجه کارشناسی ارشد در رشته مهندسی عمران سیستم اطلاعات جغرافیایی را در سال ۹۸ از دانشگاه ازاد تهران جنوب اخذ نمود.

جواد صابریان، درجه کارشناسی در رشته مهندسی عمران نقشه برداری را در سال ۸٤ از دانشگاه علم و صنعت ایران و درجه کارشناسی ارشد در رشته مهندسی GIS را در سال ۸٦ از دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی اخذ نمود. در سال ۹۲ موفق به کسب درجه دکتری در رشته مهندسی GIS از دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی گردید. زمینه های پژوهشی مورد علاقه ایشان GIS، حمل و نقل، شبکه، بهینه سازی، برنامه ریزی شهری بوده و در حال حاضر عضو هیات علمی با مرتبه استادیار در دانشگاه آزاد اسلامی واحد تهران جنوب است.