فصلنامه مهندسی حمل و نقل، دوره ۱۳، شماره ۳، بهار ۱۴۰۱، ص. ۱۷۹۶-۱۷۸۳
مقاله علمی-پژوهشی

مسیریابی چندساختی مبتنی بر عامل در سیستم حمل و نقل عمومی

مبشر کاظمی، دانشجوی کارشناسی ارشد **GIS**، گروه مهندسی نقشه‌برداری، دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه تربیت دبیر شهید رجایی، تهران، ایران
فرهاد حسینعلی (مسئول مکاتبات)، استادیار گروه مهندسی نقشه‌برداری، دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه تربیت دبیر شهید رجایی، تهران، ایران
E-Mail: f.hosseinali@sru.ac.ir

دریافت: ۱۳۹۹/۱۰/۱۲ پذیرش: ۱۴۰۰/۰۱/۱۶

چکیده

مشکلات متعدد حمل و نقل شهری نظیر آلودگی و تراکم ترافیک، تصمیم‌گیران را بر آن داشته تا شهروندان را ترغیب به استفاده هرچه بیشتر از وسایل حمل و نقل عمومی نمایند. یکی از مشکلات در این زمینه، در دسترس نبودن یک سامانه جامع از تمامی وسایل حمل و نقل عمومی می‌باشد. مدلسازی عامل-مبنا یکی از روش‌های مطرح در مدلسازی پدیده‌های پویا نظیر ترافیک شهری است. با کمک این مدل می‌توان سفر درون‌شهری با استفاده از وسایل حمل و نقل عمومی را در قالب عامل‌ها شبیه‌سازی نمود و انتخاب بهینه در سفر بین دو نقطه را یافت. از این رو در این تحقیق یک مسیریابی چندساختی عامل-مبنا مشتمل بر تاکسی، اتوبوس و آژانس برای سفر درون‌شهری طراحی و در مدل شهری و حمل و نقل عمومی شهر قزوین پیاده سازی شد. عامل‌ها در مدل در نقش مسافرانی ظاهر می‌شوند که امکان برگزیدن هر یک از وسایل حمل و نقل ممکن را برای گذر از مبدأ تا مقصد دارند و خلأهای مسیر خود را نیز با پیاده‌روی پر می‌کنند. معیارهای اصلی برگزیدن مسیر، زمان و هزینه طی طریق است. برای بررسی نتایج مدل، داده‌های میدانی جمع‌آوری شد. نتایج نشان داد که اولویت هر یک از گزینه‌های سفر برابر ۰/۴ ، ۰/۲۷ ، ۰/۱۹ و ۰/۱۴ به ترتیب مربوط به تاکسی اینترنتی، آژانس، اتوبوس و تاکسی می‌باشد. بررسی‌ها آشکار ساخت که تصمیم‌های افراد تا حدودی با خروجی مدل عامل-مبنا که در واقع بیانگر انتخاب‌های بهینه است، متفاوت می‌باشد. به نظر می‌رسد دلیل این امر تصمیم‌گیری پیچیده انسانی باشد که عوامل متعددی از جمله ریسک‌پذیری و ویژگی‌های شخصیتی و عادت و سایر عوامل ریز و درشت دیگر در آن نقش دارند. با این وجود، رواج یافتن چنین سامانه‌هایی در سطح عمومی نه تنها می‌تواند افراد را به استفاده بیشتر از حمل و نقل عمومی ترغیب نماید، بلکه موجب کاهش زمان و هزینه‌های سفر نیز خواهد شد.

واژه‌های کلیدی: سفر درون‌شهری، شبکه حمل و نقل چند ساختی، مدلسازی عامل-مبنا، مسیریابی

۱. مقدمه

یکی از مهمترین مشکلات شهری انسان عدم تعامل بین خطوط حمل و نقل عمومی می باشد. کاهش این دغدغه می‌تواند به جلوگیری از ترافیک بیهوده در سطح شهر، کاهش شاخص آلودگی هوا، کاهش تصادفات درون‌شهری، امنیت دوچرخه‌سواران و عابرین پیاده و از همه مهم‌تر کاهش هزینه‌های حاصل از عبور و مرور بسیار همچون هزینه تعمیر و نگهداری آسفالت، هزینه تولید سوخت و غیره بینجامد. هدف این پژوهش توسعه یک سامانه عامل–مبنای چندساختی[1] برای انتخاب مسیر در شهر با در نظر گرفتن انواع ساخت‌های موجود حمل و نقل به انضمام پیاده‌روی است.

با توجه به هزینه و کمبود امکانات و فضای مناسب سعی بر این است که ایستگاه‌های اتوبوس در مناسب‌ترین نقاط احداث شوند. از این رو امکان تغییر مکان ایستگاه‌های اتوبوس کم می‌باشد. با این وجود، گاهی این ایستگاه‌ها باعث عدم رعایت عدالت فضایی در دسترسی به حمل و نقل عمومی می شوند [Macal and North, 2005]. برای برقراری این عدالت می‌توان خطوط تاکسی را به این شبکه متصل کرد. از این رو شناخت تمامی مسیرهای موجود چه تک‌ساختی و چند ساختی (پیاده‌روی، دوچرخه‌سواری، مترو، اتوبوس‌ها و تاکسی) برای تمامی کاربران حیاتی می‌باشد [Chen et al., 2017].

شبکه‌های حمل و نقل عمومی برای توسعه پایدار، حفظ سلامتی و برقراری امنیت جامعه بسیار حیاتی هستند [Chow et al., 2016]. تحرک انسان‌ها و پایداری حمل و نقل شهری برای آیندگان بسیار حائز اهمیت است. افراد همواره هنگام سفر از مبدأ به مقصد[2] در چالش انتخاب بهترین مسیر هستند. لذا تمرکز بر شبکه حمل و نقل عمومی چندساختی و پیچیدگی‌های ذاتی و چالش‌های آن ضروری است. در این تحقیق به دنبال آن هستیم که عامل‌ها[3] مسیرهای ممکن را بیازمایند و ماحصل تجربه خود را معرفی نمایند [Fletterman, 2008; Delmelle and Casas, 2012]. از طرف دیگر، در شهرهای بزرگ عاقلانه‌ترین راه حل برای مشکل عدم تطابق بین عرضه و تقاضای حمل و نقل عمومی، ایجاد یک سلسله مراتب برای مسیرها، بهینه-سازی ایستگاه‌ها با تغییر توزیع تراکم، ادغام مناسب حمل و نقل موتوری و غیر موتوری و ارائه یک چارچوب مناسب است [Seaborn et al., 2009]. برای یافتن مسیر مطلوب حتماً فاکتورهایی همچون زمان، هزینه، راحتی وسیله، زیبایی منظر سهولت در مسیریابی و حتی مسیر عبوری مورد بررسی قرار می‌گیرد. این امر حتی هنگام سفر با وسایل حمل و نقل عمومی بیشتر به چشم می‌خورد. آشنایی با خطوط حمل و نقل عمومی و هماهنگی بین آن‌ها در شهرها معمولاً کار بسیار دشواری خواهد بود. انتقال و یا تبادل برای مسافرهای شهری در شبکه حمل و نقل عمومی چندساختی اجتناب‌ناپذیر است [Chen et al., 2011]. معمولاً برای مسیریابی از اطلاعات عمومی و تجربیات دیگران استفاده می‌شود که این نمی‌تواند به تنهایی راهگشا باشد. برای رفتن از مبدأ به مقصد گاهی لازم است مقداری پیاده‌روی انجام گیرد مقداری از سفر با یک وسیله حمل و نقل عمومی صورت پذیرد و میزانی از سفر نیز با وسیله یا وسایل حمل و نقل عمومی دیگری پیموده شود. اینکه چگونه این هماهنگی ایجاد شود بسیار سخت است. پس نیازمند یک سامانه چندساختی حمل و نقل هستیم.

در این پژوهش با ساخت یک مدل عامل–مبنا یک سامانه چندساختی حمل و نقل عمومی برای شهر قزوین طراحی شد که با تعیین مبدأ و مقصد، هزینه و زمان را محاسبه کرده و در اختیار کاربر قرار می‌دهد تا کاربر با دید باز به انتخاب وسیله حمل و نقل خود بپردازد. در نهایت نیز اطلاعات به دست آمده با اطلاعات جمع‌آوری شده به صورت میدانی مقایسه می‌شود تا میزان عینیت یافتن آن مشخص گردد.

۲. مروری بر ادبیات تحقیق

فلاترمن در سال ۲۰۰۸ میلادی در تحقیقی در پرتوریا آفریقا جنوبی، به این نتیجه رسید که ساخت‌های حمل و نقل عمومی به جای تکمیل یکدیگر به دنبال رقابت با یکدیگر هستند. پیشرفت‌ها در زمینه حمل و نقل به صورت واکنشی (بنا به عرضه و تقاضا) بوده و این فرایند واکنشی باعث بی اعتمادی مسافران شده است. از این رو وی یک مدل چند بعدی شبکه‌ای ارائه نمود که قادر به طراحی دنیای واقعی و شبکه‌های بزرگ مناطق شهری می‌باشد و تلاش می‌کند راه حل مطلوب بین راه رفتن مسافران تا ایستگاه اتوبوس و تعداد آن‌ها را پیدا کند. این مدل به دنبال تغییر، تصحیح کردن، حذف و یا حرکت ایستگاه‌ها است و بدین منظور ایستگاه‌های اتوبوس را با توجه به اطلاعات جغرافیایی مسافران جانمایی می‌کند[Fletterman, 2008].

سیبورن و همکاران در سال ۲۰۰۹ میلادی در تحقیقی در صدد شناسایی و ارزیابی سفرهای چندمنظوره با استفاده از کارت‌های پرداخت هوشمند در لندن بودند و بدین منظور سه ترکیب اتوبوس به مترو، مترو به اتوبوس و اتوبوس به اتوبوس را بررسی نمودند.آنان از طرفی تقاضای سفر را نیز بررسی کردند. این مقایسه دارای نقص‌هایی بود و این نقائص به دو دلیل بود: ۱- در تقاضای سفر فقط ساکنین لندن مدنظر بودند ولی در کارت هوشمند هر شخصی می-توانست حضور داشته باشد. ۲- در تقاضای سفر فقط یک نمونه کوچک از ساکنان لندن و فقط مسیر اتوبوس به مترو مورد بررسی قرار گرفته بود. محققان با بررسی صورت گرفته و به دست آوردن حد آستانه زمان دسترسی توانستند جایگذاری دقیق ایستگاه‌های اتوبوس را بیابند [Seaborn et al, 2009].

ژانگ و همکاران در سال ۲۰۱۱ میلادی در رتردام هلند کل شبکه حمل و نقل مبدأ به مقصد را به دو دسته حمل و نقل عمومی و خصوصی طبقه‌بندی کردند. سپس از یک روش عمومی برای ساخت شبکه حمل و نقل چندساختی استفاده کردند. در میان تمام حالت‌ها، پیاده‌روی نقش مهمی در انتقال دارد. نتایج آزمون نشان داد الگوریتم دایجسترا[4] می‌تواند مسیر با کیفیت و زمان مناسب را در حالت تک سفره نشان دهد. زمان اجرای الگوریتم برای حل تک سفر بسیار کم بوده ولی هنگامی‌که شبکه‌های متنوع بررسی می‌شوند، زمان بسیار افزایش می‌یابد. دلیل این افزایش آن است که زمان زیادی برای جستجوی گره‌ها و میزان پیاده‌روی برای دسترسی به ایستگاه‌ها صرف می‌شود. ولی حافظه پنهان الگوریتم در جستجوهای آتی باعث شد تا حد زیادی مشکل زمان حل شود [Zhang et al., 2011].

ین و همکاران در سال ۲۰۱٤ میلادی در کوئینزلند استرالیا مدل‌های ریاضی توزیع شده را با استفاده از خصوصیات جمعیت‌شناختی اجتماعی برای اندازه‌گیری رفتار انتقال به کار گرفتند و این مدل‌ها برای سیاست‌های پیش رو برای هرچه بهتر کردن تبادل مورد استفاده قرار گرفتند. محققان تبادل بین وسایل حمل و نقل عمومی را برای چهار قشر: کارمندان، دانشجویان، افراد ثروتمند و سالمندان مورد بررسی قرار دادند. ۹۰٪ نتایج حاصل شده نشان می‌دهد تبادل تحت تأثیر ویژگی‌های سفر و سطح خدمات حمل و نقل عمومی قرار می‌گیرد. همچنین یافتن اثرات شبکه حمل و نقل عمومی برای کارمندان با اهمیت‌تر است چراکه آنان بیشتر به دنبال مسیر بدون تبادل هستند و بیشتر آن‌ها از مسیر مستقیم و تک منظوره اتوبوسی استفاده می‌کنند [Yen et al., 2018].

چاو و همکاران در سال ۲۰۱٦ میلادی در لندن، یک مدل عامل-مبنا برای مدیریت و تخمین آسیب پذیری و انعطاف پذیری شبکه حمل و نقل طراحی کردند تا با توجه به مقادیر ورودی مختلف، میزان اختلال در شبکه را تخمین بزنند. این مدل با رویکرد تعادلی بر اساس پیکربندی و شرایط ترافیکی محیط و استفاده ازMATsim[5] هر کاربر را به عنوان یک عامل در نظر می‌گیرد و رفتار آن را از لحاظ انتخاب فعالیت‌ها، زمان سفر، مسیر سفر، حالت‌ها و زمان خروج ارزیابی می‌کند. با این حال مدل‌های مبتنی بر عامل متفاوت از رویکرد تعادلی است و این اجازه را می‌دهد که سیستم در حالت هرج و مرج و نامناسب قرار گیرد. این ویژگی برای

بررسی آسیب‌پذیری شبکه و ارزیابی انعطاف پذیری شبکه انجام می‌گردد و مهم است [Chow et al., 2016] .

طهماسبی و حق‌شناس در سال ۱۳۹۸ در تهران به دنبال بررسی زمان سفر با حمل و نقل عمومی و دسترسی وسایل حمل و نقل عمومی به فعالیت‌های مختلف شهری اعم از اشتغال، تحصیل، مراقبت‌های بهداشتی، فروشگاه‌ها و نقاط تفریحی و گردشگری بودند. آنها از روش PCA[۶] با ترکیب دسترسی به فعالیت‌های مختلف به یک شاخص منحصر به فرد دست یافتند. آنها بیان کردند زمان سفر در شبکه حمل و نقل عمومی، منجر به ارزیابی خوش‌بینانه از عدالت فضایی می‌شود. در نهایت آنان سطح دسترسی به مناطق مختلف شهری را نشان داده و نتیجه گرفتند که مرکز شهر از دسترسی بهتری به وسایل نقلیه عمومی به نسبت حاشیه شهر برخوردار است و لذا زمان سفر در مراکز به نسبت کمتر است [Tahmasbi and Haghshenas, 2019].

بزیاک و همکاران در سال ۲۰۲۰ میلادی در اسپانیا برای درک موانع و پشتیبانی دسترسی به حمل و نقل عمومی و تأثیر آن بر مشارکت جامعه دست به یک بررسی ملی زدند. نتایج کار آنان نشان داد که اکثر پاسخ دهندگان در دسترسی به حمل و نقل عمومی دچار مشکل شده‌اند و فعالیت‌های جامعه که طبق برنامه منظم انجام نمی‌شوند بیشتر تحت تأثیر مشکلات حمل و نقل عمومی قرار دارند. بر این اساس افراد دارای نابینایی یا کم‌بینایی، معلولیت‌های روانپزشکی، شرایط مزمن سلامت یا چند معلولیت برای استفاده از وسایل حمل و نقل عمومی، مشکلات بسیار بیشتری را تجربه کرده‌اند [Brezyak et al., 2020].

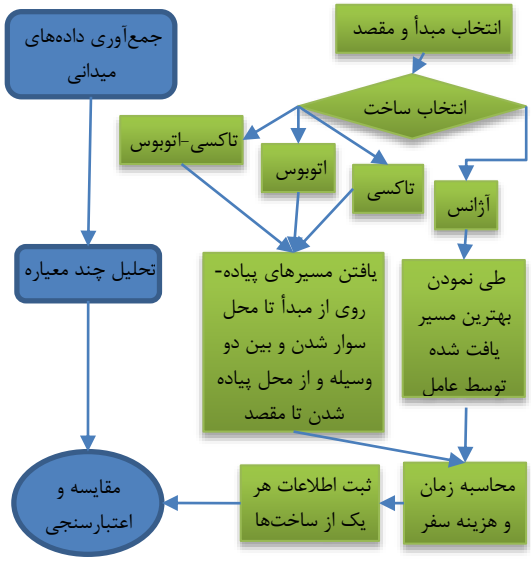
بررسی تحقیقات پیشین مؤید این نکته است که استفاده از حمل و نقل عمومی در شهرها به سهولت انجام نمی‌شود و برای افزایش بهره‌وری این خدمات پژوهشگران مختلف در تلاش هستند. از این رو کمبود سامانه‌ای که بتواند گزینه‌های مختلف سفر با حمل و نقل عمومی و زمان و هزینه نسبتاً دقیق هر یک را نشان دهد، حس می‌شود.

۳. روش تحقیق

از پژوهش‌ها گذشته نکات مهمی حائز اهمیت بودند که به طور خلاصه شامل موارد زیر می‌شوند:

- مهمترین مسئله در شبکه حمل و نقل عمومی تعامل بین خطوط حمل و نقلی می‌باشد.
- با طراحی مدل عامل‌مبنا می توان یک ساختار مناسب برای مسیریابی طراحی کرد.
- سطح مطلوبیت در اقشار مختلف متفاوت بوده است.

بر این اساس این پژوهش در سه گام انجام می‌گیرد: در گام نخست مدل عامل-مبنا طراحی، عامل‌ها شناسایی شده و وظایف هر عامل اختصاص داده می‌شود و با انتخاب مبدأ و مقصد، وسایل حمل و نقلی در دسترس و هزینه و زمان مسیریابی با هر وسیله اعلام می‌گردد. در گام دوم اطلاعات میدانی جمع آوری و در گام آخر این اطلاعات با نتایج مدل مقایسه می‌شود. این روند در شکل ۱ نشان داده شده است.

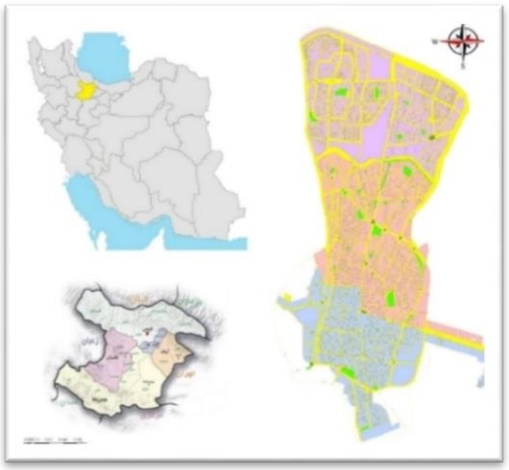


شکل ۱. روندنمای مراحل تحقیق

۳-۱ منطقه مورد مطالعه

منطقه مورد مطالعه این پژوهش شهر قزوین می‌باشد (شکل ۲). شهر قزوین (مرکز استان قزوین)، بزرگ‌ترین شهر استان قزوین و مرکز آن می‌باشد. استان قزوین با مساحتی معادل ۱۵۵۶۷ کیلومتر مربع، راهگذر ارتباطی بیش از ۱۳ استان

کشور و پلی ما بین پایتخت و مناطق شمالی و غربی و نیز کشورهای قفقاز و اروپایی است. جمعیت استان قزوین بر اساس سرشماری عمومی نفوس و مسکن سال ۱۳۹۵، یک میلیون و ۲۷۳ هزار و ۷۶۱ نفر می‌باشد. حمل‌ونقل شهری در شهر قزوین به طور گسترده با سه وسیله (اتوبوس، تاکسی، آژانس به صورت تلفنی یا اینترنتی) انجام می‌شود که در این پژوهش هر سه وسیله مورد بررسی قرار می‌گیرد.



شکل ۲. منطقه مورد مطالعه

۳-۲ مدلسازی عامل-مبنا

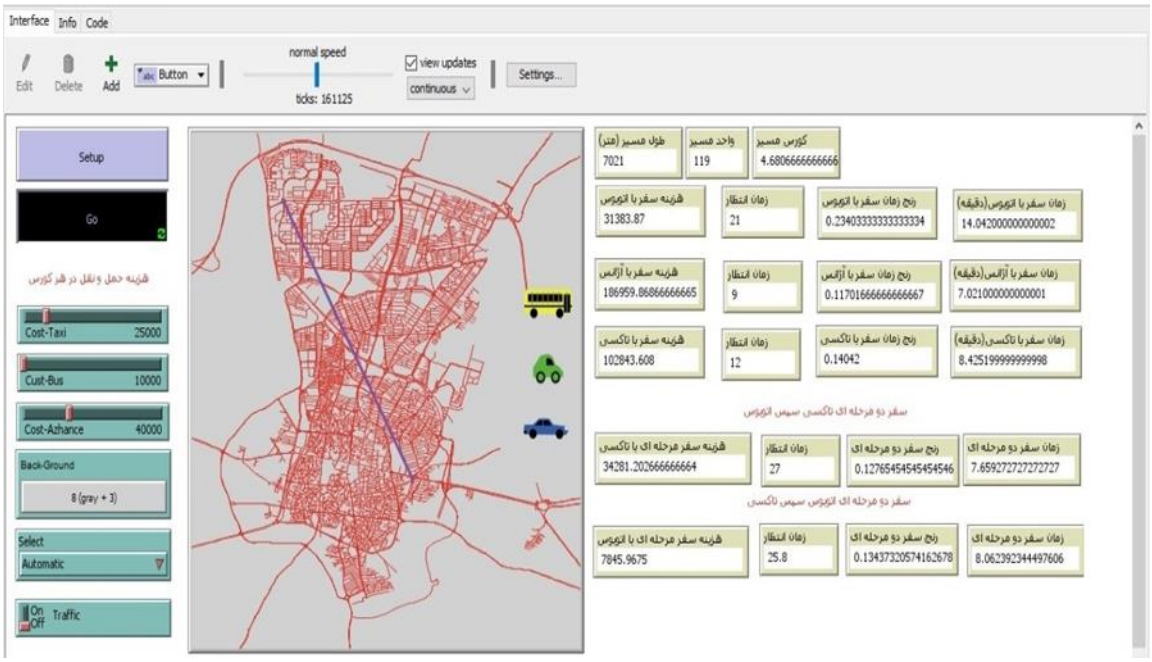
با وجود نداشتن تعریف واحدی برای مدلسازی عامل-مبنا به طور کل می‌توان گفت این مدلها از عوامل در تعامل با هم ولی در عین حال مستقل تشکیل شده‌اند [Macal and North, 2005; Niger, 2019]. در این پژوهش از چند عامل مجزا با خصوصیات عملی متفاوت استفاده شده است. برای برقراری ارتباط بین عناصر و طراحی یک مدل شهری حمل و نقل عمومی باید عناصر با هم در تعامل باشند که یکی از روش‌های مفید و نوین نیل به این مقصود، بهره‌گیری از مدل عامل-مبنا است.

زمانی که عامل بتواند از المان‌ها و اجزایی جهت ایجاد تصمیم‌های پیچیده و چند معیاره استفاده نماید آن عامل را هوشمند می‌نامیم [Berryman, 2008; Bandini et al., 2009]. به دلیل آنکه در مسأله حمل و نقل، تصمیم هر عامل با عامل دیگر در ارتباط است، باید از عامل هوشمند استفاده شود. سامانه‌های عامل-مبنا به عنوان یک ابزار پیشرفته برای شبیه‌سازی دنیای واقعی در مسائل محاسباتی و تست فرآیندهای مختلف در واکنش‌های محیط مورد استفاده قرار می‌گیرند [Genesereth, 1994; Bradshaw et al., 2001].

در تحقیقات مختلف افراد و یا ارگان‌های متفاوتی به عنوان عامل در نظر گرفته شده‌اند. به طور مثال حسینعلی و همکاران در سال ۲۰۱۳ میلادی با توجه به سطح در آمد و میزان اولویت دسترسی به حمل و نقل عمومی، پنج نوع عامل را مدنظر قرار دادند [Hosseinali et al., 2013]. تعداد عامل‌ها و نوع عامل‌ها تحت تاثیر موقعیت منطقه مورد مطالعه می‌باشد. با بررسی‌های صورت گرفته در این تحقیق از چهار ساخت اتوبوس، تاکسی، آژانس (تلفنی و اینترنتی) و ترکیب اتوبوس با تاکسی برای مسیریابی در مدل استفاده شده است. شایان ذکر است که در شهر قزوین هزینه سفر با اتوبوس به مسافت بستگی دارد که توسط مسافران با استفاده از کارت‌های مخصوص شهروندی پرداخت می‌شود. تمامی خطوط اتوبوس‌رانی قزوین با مکان دقیق ایستگاه‌ها در این تحقیق در نظر گرفته شده‌اند. همین امر در مورد خطوط تاکسی‌رانی نیز صادق است و منظور از تاکسی در این تحقیق تاکسی‌های خطی با مبدأ و مقصد مشخص می‌باشد.

در این پژوهش برنامه‌نویسی در محیط نرم افزار NetLogo صورت گرفته است. NetLogo یک نرم‌افزار رایگان و متن باز مخصوص مدل‌سازی مبتنی بر عامل است که در سال ۱۹۹۹ میلادی توسط یوری ویلنسکی طراحی و ارائه شده است و مفهوم ذاتی آن تعریف سیستم‌ها از دیدگاه جزء به کل می‌باشد [Hosseinali and Azizkhani, 2016]. برخلاف مدلسازی کلاسیک که دیدگاه کل به جزء دارد [Crooks and Castle, 2012] این نرم‌افزار با استفاده از زبان برنامه‌نویسی مختص به خود توانایی ایجاد مدل‌های مبتنی بر عامل با دیدگاه جزء به کل را در زمینه‌های گوناگون دارد. در مدل طراحی شده، هزینه سفر با تاکسی، آژانس و اتوبوس و یا ترکیب اتوبوس با تاکسی در کل مسیر از مبدأ

تا مقصد اعلام و در نهایت مطلوبیت هر یک مشخص می-شود. شکل ۳ رابط کاربری نرم افزار را نشان می دهد.



شکل ۳. رابط کاربری طراحی شده

روند کار مدل به این صورت است که ابتدا مبدأ و مقصد سفر مشخص می‌شود. سپس عامل روش‌ها یا همان ساخت-های مختلف قابل استفاده برای رفتن از مبدأ به مقصد را آزمایش می‌کند تا کم‌هزینه‌ترین و کم‌زمان‌ترین را بیابد. برای مثال استفاده از اتوبوس مستلزم پیاده‌روی از مبدأ تا نزدیکترین ایستگاه اتوبوس به آن، حرکت با اتوبوس و در صورت لزوم تعویض خط و سپس پیاده‌روی از نزدیکترین ایستگاه اتوبوس به مقصد تا خود مقصد است. در این طی مسیر، عامل همه زمان‌ها و هزینه‌ها را جمع می‌کند و هزینه و زمان استفاده از این ساخت را محاسبه می‌نماید. برای هر یک از ساخت‌ها جزئیات لازم کاملاً در نظر گرفته شده‌اند که برای نمونه می‌توان به تأخیر متوسط رسیدن اتوبوس به ایستگاه یا یافتن تاکسی و یا رسیدن آژانس اشاره نمود.

٤. تحلیل نتایج

٤-١ نتایج حاصل از مدلسازی عامل-مبنا

بخش مهم مدلسازی عامل-مبنا در این تحقیق انتخاب هزینه‌های سفر هر وسیله حمل و نقل می‌باشد. طبق دستورالعمل واحد بین اتوبوسرانی و تاکسیرانی و هزینه‌های سفر بر اساس قطعه (کورس) مسافتی تعیین می‌شوند و هر ۱۵۰۰ متر یک قطعه مسافرتی می‌باشد. هزینه سفر برای اتوبوس هر قطعه ۳۰۰۰ ریال برای تاکسی ۸۰۰۰ ریال و برای تاکسی اینترنتی (آژانس اینترنتی) و آژانس (آژانس تلفنی) ۲۰۰۰۰ ریال می‌باشد. همچنین به دلیل نداشتن ترافیک چندان به غیر از تعداد معدودی از روزها، لایه ترافیکی مورد استفاده‌ای نداشت و در حالت خاموش گذاشته شد. چهار ساخت سفر در این تحقیق برای عامل در نظر گرفته شد که عبارتند از:

- ساخت اول <اتوبوس>: اتوبوس‌ها با سرعت متوسط ۱۰۰۰ متر در دقیقه و با هزینه هر قطعه ۳۰۰۰ ریال و با در نظرگرفتن توقف در هر ایستگاه اتوبوس و توقف در چهارراه‌ها در نظر گرفته شده‌اند. برای به دست آوردن زمان مسیر چند متغیر درگیرند که شامل زمان دسترسی به نزدیک‌ترین ایستگاه زمان انتظار در ایستگاه و زمان سفر می‌باشد. شهر قزوین دارای ٤٨٧ ایستگاه اتوبوس و ٤٦ خط اتوبوس می‌باشد.

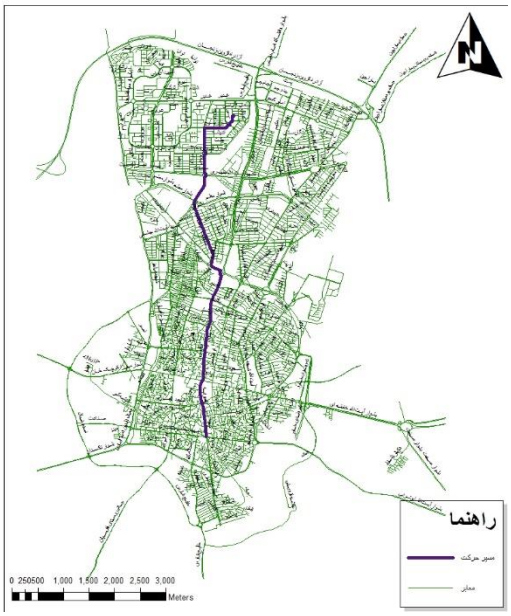
- ساخت دوم <تاکسی>: تاکسی‌ها با سرعت متوسط ۲۰۰۰ متر در دقیقه و با هزینه هر قطعه ۸۰۰۰ ریال و با درنظرگرفتن توقف برای پنج مسافر و توقف در چهارراه‌ها در نظر گرفته شده‌اند. برای به دست آوردن زمان مسیر، دانستن میزان دسترسی به خیابان اصلی و زمان سفر لازم می‌باشد.
- ساخت سوم <آژانس>: آژانس‌ها با سرعت متوسط ۳۰۰۰ متر در دقیقه (به دلیل عدم لحاظکردن سرعت پیاده‌روی) و با هزینه هر قطعه ۲۰۰۰۰ ریال و هزینه ثابت ابتدایی ٤۰۰۰۰ ریال و با درنظرگرفتن زمان رسیدن به مبدأ و توقف برای مسافر و توقف در چهارراه‌ها در نظر گرفته شده‌اند. برای به دست آوردن زمان سفر، محاسبه زمان انتظار برای آژانس و زمان سفر ضروری می‌باشد. . شهر قزوین دارای ۱۲ ایستگاه فعال برای تاکسی و ٦۲ خط تاکسی می‌باشد.
- ساخت چهارم <ابتدا تاکسی و سپس اتوبوس برای مسافت‌های طولانی>: این مسیرها با سرعت متوسط ۱۵۰۰ متر دقیقه (با درنظرگرفتن میزان پیاده‌روی برای جابه‌جایی بین دو اتوبوس) و با هزینه هر قطعه ۳۰۰۰ ریال برای اتوبوس و هر قطعه ۸۰۰۰ ریال برای تاکسی، با در نظر گرفتن توقف در هر ایستگاه و توقف در چهارراه‌ها و زمان متوسط جا به جایی بین تاکسی و اتوبوس در نظر گرفته شده‌اند. برای به دست آوردن زمان مسیر چند متغیر درگیرند که شامل زمان دسترسی به نزدیکترین ایستگاه، زمان انتظار در ایستگاه و زمان سفر می‌باشند.

برای پیاده‌سازی مدل، ۱۰۰ نمونه مبدأ و مسیر به صورت تصادفی در سطح شهر با طول مسیر مختلف در شش طبقه‌بندی قطعه (از نظر طول)، ایجاد و سفر مربوط به آنها توسط عامل‌های مدل شبیه‌سازی و تحلیل گردید. روند کار به این صورت است که هر عامل برای سفر از مبدأ تا مقصد هر چهار ساخت مورد نظر را آزمایش می‌کند و زمان و هزینه محاسبه شده ثبت و ضبط می‌گردد. هر قطعه (کورس) در سه بازه ۵۰۰ متری بررسی می‌شود و نتایج به‌صورت خلاصه و به صورت میانگین‌گیری شده نمایش داده می‌شود. بیشترین مسافت‌های مسیری در شهر قزوین درحدود ۹ کیلومتر می‌باشد و کمترین طول سفر نیز ۱۰۰ متر در نظر گرفته شد. نمونه‌ای از تنظیمات مدل عامل-مبنا در شکل ٤ و نمونه‌ای از یک مسیر طی شده در شکل ۵ نشان داده شده است.

شکل ٤. نمونه‌ای از تنظیمات مدل عامل-مبنا

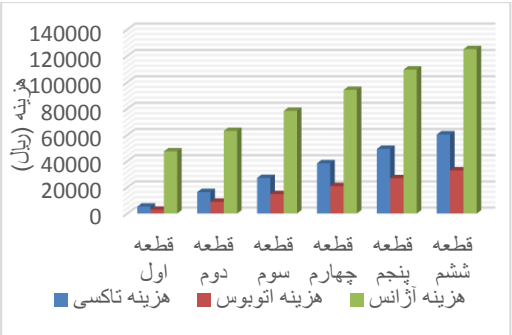
برای اینکه نتایج به صورت ساده‌تری قابل مقایسه باشند، نتایج حاصل از سه ساخت اتوبوس و تاکسی و آژانس ارائه می‌شوند و از ترکیب اتوبوس با تاکسی صرف نظر می‌شود. همانطور که در شکل ٦ مشاهده می‌شود با افزایش مسافت سفر، هزینه‌های سفر فاصله زیادی از هم گرفته‌اند. در بازه تا ۱۵۰۰ متر مشاهده می‌شود که هزینه تاکسی با اتوبوس تفاوت چندانی ندارد ولی اختلاف چشمگیری بین اتوبوس و تاکسی با آژانس وجود دارد. هرچه مسافت مبدأ و مقصد افزایش پیدا می‌کند این اختلاف کاهش می‌یابد، به طوری که در انتها در قطعه ششم که مسافت حدود ۹۰۰۰ متر می شود، فاصله قیمت کمتر شده و انتخاب دشوارتر می‌شود. از مسافت ۱۰۰ متر تا ۹۰۰۰ متر هزینه آژانس حدودا سه برابر شده، هزینه تاکسی ۲۰ برابر و هزینه اتوبوس نیز ۲۰ برابر شده است و این ضریب افزایشی نشان می دهد که تفاوت هزینه‌ها در حال کاهش هستند.

نمونه مسیر یابی شهر قزوین



شکل ۵. نمونه مسیر طی شده توسط مدل عامل-مبنا

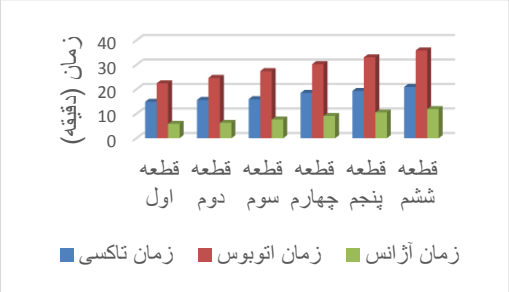
در این نمونه از ساخت تاکسی استفاده شده است که شامل دو خط تاکسی می‌باشد و برای رسیدن به اولین خط تاکسی در شمال شهر مسیر به صورت پیاده طی شده است.



شکل ٦. نمودار هزینه‌ها برای هر ساخت

شکل ۷ زمان استفاده از ساخت‌های مختلف را نشان می‌دهد. همانگونه که در این شکل پیداست، زمان‌ها روند افزایشی دارند ولی در عین حال دارای نوسان نیز می‌باشند که این به دلیل دسترسی مردم به ایستگاه‌ها، خیابان‌های اصلی و فاصله با آژانس‌ها اتفاق افتاده است. همچنین با توجه به شکل ٦ مشاهده می‌شود از نظر زمان همیشه اتوبوس دارای کندی بسیار زیادی نسبت به سایر وسایل حمل و نقل عمومی می‌باشد. نهایت تفاوت زمان در بازه بین شش قطعه در تاکسی و آژانس حدود شش دقیقه بوده ولی تفاوت زمانی در اتوبوس نزدیک به ۳۰ دقیقه است.

نتایج مدل را می‌توان به سه دسته دو قطعه‌ای تقسیم‌بندی کرد. در دو قطعه اول با در نظر گرفتن هزینه و زمان، استفاده از تاکسی معقول به نظر نمی‌رسد و اتوبوس بسیار مقرون به صرفه‌تر می باشد به طوری که به نظر می‌رسد تاکسی برای سفرهای یک قطعه‌ای تقریباً بی‌فایده است و برای دو قطعه نیز مقرون به صرفه نیست.



شکل ۷. نمودار زمان سفر برای هر ساخت

در دو قطعه دوم نتایج تا حدودی دستخوش تغییر می‌شود. در قطعه‌های سوم و چهارم با افزایش نسبی فاصله بین هزینه ساخت‌های مختلف و از طرفی کاهش یافتن فاصله زمان‌ها با یکدیگر، محبوبیت‌ها جابه‌جا می‌شود به طوری که در قطعه سوم محبوبیت بیشتر به سمت تاکسی‌ها رفته و در قطعه چهارم محبوبیت آژانس و تاکسی تقریباً به یک اندازه می‌شود. در دو قطعه پنجم و ششم با در نظر گرفتن زمان و هزینه به این نتیجه می‌رسیم که تاکسی با زمان و هزینه‌ای که دارد بسیار جذاب بوده و پس از آن آژانس با هزینه بالاتر ولی زمان کمتر می‌تواند گزینه مطلوبی برای سفر باشد ولی اتوبوس محبوبیت خود را از دست می‌دهد. شاید به همین دلیل باشد که سازمان اتوبوس‌رانی خطوط اتوبوس‌رانی با مسافت بسیار بالا طراحی نمی‌کند.

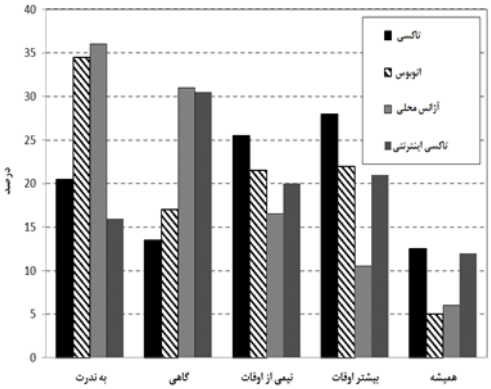
با وجود همه این تفسیرها، ترکیب زمان و هزینه به صورت کمی ممکن نیست و چنانچه معیارهایی هم برای آن در نظر گرفته شود، دیدگاه‌های افراد مختلف ممکن است کاملاً متفاوت باشد و برای مثال برای فردی هزینه دارای اهمیت حیاتی باشد و برای دیگری زمان، بسیار مهم باشد. اما

تفسیرهای ارائه شده تفاسیری کلی می‌باشد و هدف از این مدل تولید این تفسیرها نیست. در واقع با استفاده از مدل عامل-مبنای توسعه داده شده هر فرد می‌تواند از زمان و هزینه ساخت‌های مختلف آگاهی پیدا کند و ساخت مطلوب مورد نظر خود را با در نظر گرفتن زمان و هزینه انتخاب نماید. در قسمت پیش رو، نتایج حاصل از اخذ و تحلیل نتایج میدانی در مورد استفاده از ساخت‌های حمل و نقل عمومی ارائه می‌گردد.

٤-٢ نظرسنجی و تحلیل نتایج

میزان استفاده افراد جامعه از تاکسی‌ها، تاکسی‌های اینترنتی، اتوبوس و آژانس تابع موارد مختلفی است که می‌تواند در تصمیم‌گیری میزان جذابیت با هر وسیله به جهت سفر نقش تعیین‌کننده‌ای داشته باشد. در این پژوهش جهت شناخت دیدگاه مردم نسبت به حمل و نقل عمومی و میزان استفاده از آنها حدود ۲۰۰ پرسشنامه از عموم مردم و دانشجویان و کارکنان دولتی بصورت آنلاین جمع آوری گردید. نتایج به صورت خلاصه در شکل ۸ نمایش داده شده است.

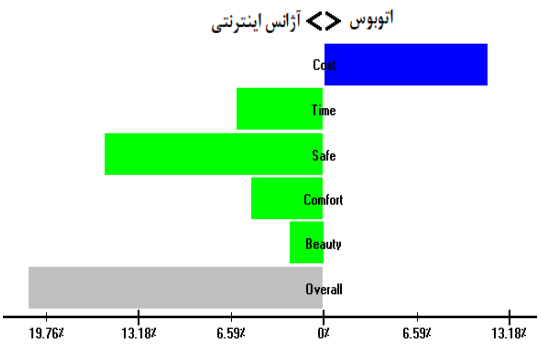
این‌که چه شاخص‌هایی برای ارزیابی جذابیت سفر می‌تواند تعیین‌کننده باشد با توجه به موارد اجتماعی، اقتصادی، فرهنگی و حتی تا حدودی تاریخی می‌تواند متفاوت باشد. تخصص و تجربه در انتخاب نوع شاخص‌های بسیار حائز اهمیت است. در این تحقیق ضمن بررسی منابع مطالعاتی مختلف و پرسش از افراد صاحب‌نظر در این خصوص، پنج شاخص برای رضایت در سفر انتخاب شد. این شاخص‌های پنج‌گانه که عبارت‌اند از هزینه[۷]، زمان[۸]، اطمینان[۹]، راحتی[۱۰] و زیبایی منظر در شکل ۹ آورده شده‌اند. در مرحله بعدی مقایسات مورد توجه قرار می‌گیرد و بدین ترتیب گزینه‌ها برای هر یک از شاخص‌ها مورد مقایسه زوجی قرار می‌گیرند. در هر مرحله نیز شاخص ناسازگاری کنترل شده و تعیین می‌شود. به عنوان مثال شکل ۱۰ مقایسه دو گزینه را از منظر شاخص‌های مختلف نشان می‌دهد. شکل ۱۱ نیز نشانگر نتایج کلی میزان استفاده از چهار وسیله حمل و نقل عمومی مورد بحث است.



شکل ۸. میزان استفاده افراد از وسایل حمل و نقل مختلف بر اساس اظهار آن‌ها

شکل ۹. شاخص‌های رضایت از سفر

همان‌طور که در این شکل‌ها قابل مشاهده است، با توجه به شاخص‌های مد نظر و نتایج نظرسنجی می‌توان اذعان نمود که استفاده از تاکسی اینترنتی از محبوبیت زیادی در میان شهروندان برخوردار است. از طرفی استفاده از تاکسی کمترین ارجحیت را در بین گزینه‌ها دارد. شایان ذکر است که دلیل در نظر گرفته نشدن تاکسی اینترنتی در مدل عامل-مبنا، زمان و هزینه متغیر استفاده از این وسیله است.

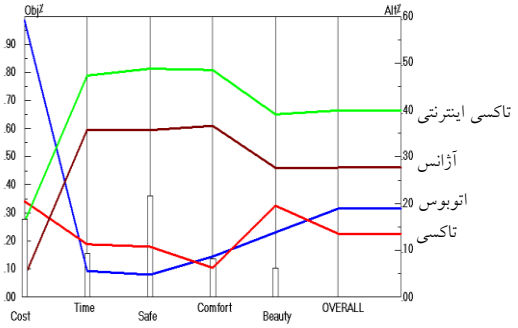


شکل ۱۰. مقایسه دو گزینه تاکسی و اتوبوس در شاخص‌های مختلف

شکل ۱۱. اولویت‌بندی گزینه‌ها

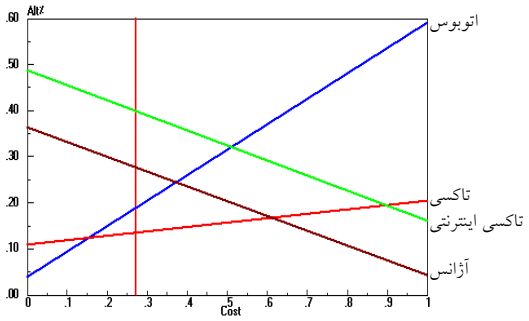
نتایج حاکی از آن است که استفاده از تاکسی‌های اینترنتی سه برابر نسبت به تاکسی‌های خطی ارجحیت دارد. بعد از تاکسی‌های اینترنتی، آژانس‌ها و سپس اتوبوس و در نهایت تاکسی به ترتیب اولویت‌های دوم تا چهارم شهروندان برای سفر بین شهری محسوب می‌شوند. در این خصوص معیاری که تعیین‌کننده صحت تصمیم‌گیری و اولویت‌بندی محسوب می‌شود، در واقع میزان ناسازگاری است که طبق محاسبات ساعتی شاخص مربوطه باید کمتر از ۰/۱ باشد [Farid et al., 2014]. باتوجه‌به این مورد که میزان شاخص ناسازگاری در مقایسات زوجی برابر ۰/۰۸ است صحت مقایسات مورد تأیید قرار می گیرد. همچنین بنا بر نظرسنجی صورت‌گرفته عموم شهروندان اذعان داشتند که راحتی سفر و اطمینان تاکسی‌های اینترنتی نسبت به آژانس‌ها بالاتر می‌باشد. به این ترتیب در جمع‌بندی می‌توان گفت همانگونه که در شکل ۱۱ پیداست مطلوبیت هر یک از گزینه‌های سفر به ترتیب ۰/٤ ، ۰/۲۷ ، ۰/۱۹ و ۰/۱٤ به ترتیب مربوط به تاکسی اینترنتی، آژانس، اتوبوس و تاکسی می‌باشد.

اقدام بعدی در تحلیل سلسله مراتبی تحلیل حساسیت مدل نسبت به هر یک از شاخص‌ها و گزینه‌ها می‌باشد. شکل ۱۲ تحلیل حساسیت را نشان می‌دهد که به‌واسطه آن می‌توان این‌گونه برداشت نمود که با تغییر هر یک از شاخص‌ها اولویت‌ها گزینه‌ها چگونه تغییر می‌نماید.



شکل ۱۲. تحلیل حساسیت گزینه‌ها نسبت به شاخص‌های جمع‌آوری شده

تحلیل حساسیت گزینه‌ها نسبت به شاخص‌ها نشانگر این است که با تغییر تصنعی وزن شاخص‌ها، اولویت‌بندی گزینه‌ها نیز تغییر می‌کند. به‌عنوان مثل اگر هزینه، ارزش و اهمیت بالاتری داشته باشد، اتوبوس در اولویت بالاتری قرار می‌گیرد و اگر اطمینان بالاتر رود، اتوبوس و تاکسی از نظر اولویت افت پیدا می‌کنند. برای راحت‌تر شدن بحث در خصوص تحلیل حساسیت هر یک از گزینه‌ها، می‌توان از شکل ۱۳ استفاده کرد. همان‌طور که در این شکل مشاهده می‌شود، اگر ارجحیت شاخص هزینه افزایش پیدا کند، توزیع اولویت‌بندی گزینه‌ها به فرم اتوبوس، تاکسی، تاکسی اینترنتی و آژانس خواهد بود.



شکل ۱۳. تحلیل حساسیت گزینه‌ها نسبت به هزینه

۵. نتیجه‌گیری

با بهره‌گیری از رویکرد مدلسازی که توسط مدل عامل–مبنا پیاده‌سازی شد و روش عینی که با بررسی میدانی و سپس

تحلیل چندمعیاره نظر استفاده‌کنندگان از شبکه حمل و نقل عمومی درون‌شهری، جامه عمل پوشید؛ نتایج قابل توجهی به دست آمد که در این بخش به جمع‌بندی آنها پرداخته می‌شود. ابتدا به شرح نتایج روش عامل–مبنا می‌پردازیم:

- برای مسافران در مسافت‌های کوتاه (مسیر با طول یک تا سه کیلومتر) باصرفه‌ترین و منطقی‌ترین وسیله حمل نقل اتوبوس می‌باشد، زیرا تفاوت زمان چشمگیری مابین تاکسی و اتوبوس نبوده، پس بنابراین پیشنهاد نرم‌افزار به مسافران بنا به هزینه بسیار کمتر اتوبوس خواهد بود.
- بهترین انتخاب برای مسافران در مسافت‌های متوسط (مسیر با طول ۲/۵ تا شش کیلومتر) تاکسی می‌باشد و دلیل اصلی آن مطلوبیت بیشتر می‌باشد. مسافران تاکسی با آرامش خاطر بهتری سفر می‌کنند و از طرفی به دلیل اختلاف نداشتن چشمگیر هزینه مابین تاکسی و اتوبوس بیشتر طرفدار تاکسی خواهند.
- بهترین انتخاب برای مسافران برای مسافت طولانی (مسیر با طول شش کیلومتر به بالا) آژانس و البته نوع به‌صرفه‌تر آن یعنی تاکسی اینترنتی خواهد بود، زیرا عوامل مطلوبیت در مسافت‌های طولانی بسیار دستخوش تغییر می‌شود. در مسافت‌های طولانی فاکتورهایی همچون هزینه، زمان سفر، راحتی، زمان انتظار و غیره بسیار حائز اهمیت خواهد بود و برای انتخاب مسیر تمامی فاکتورها باید در نظر گرفته شود.

از طرفی بعد از جمع‌آوری داده‌های میدانی نتایجی به دست آمد که تفاوت جالبی با نتایج حاصل از مدل عامل–مبنا داشت. در ادامه به بررسی این نتایج می‌پردازیم:

حدود ۷۰ درصد مردم زیبایی منظر برایشان اهمیت دارد و معتقد هستند با تاکسی، آژانس و تاکسی اینترنتی بیشتر از منظره اطراف لذت می‌برند.

حدود ٦٥ درصد مردم زمان سفر برایشان بسیار اهمیت دارد و از طرفی به علت در دسترس بودن بیشتر تاکسی اینترنتی، برای این قشر از جامعه آماری، مناسب‌ترین وسیله حمل‌ونقل عمومی تاکسی‌های اینترنتی خواهد بود.

حدود ٦٥ درصد مردم هزینه سفر برایشان اهمیت ویژه‌ای دارد و این نیز یک برداشت منطقی می‌باشد و چون فقط سه درصد از افراد جامعه آماری اعلام کرده‌اند که هزینه سفر برای آنها از اهمیت ناچیزی برخوردار است، می‌توان به این نتیجه رسید که هزینه سفر اولویت اول مسافران خواهد بود. با بررسی علاقه‌مندی مسافران به استفاده از ساخت‌های حمل و نقل عمومی این نتیجه حاصل شده که تاکسی اینترنتی با وجود هزینه بیشتر زیاد، از اهمیت و جذابیت مناسبی برخوردار است. چند عامل باعث جذابیت بسیار زیاد تاکسی اینترنتی شده است که عبارت‌اند از:

- حداقل زمان توقف در مبدأ
- دارابودن تخفیف‌های بسیار زیاد
- مناسب بودن هزینه برای دو مسافر به بالا
- قابلیت اطمینان بالا
- راحتی سفر
- حداقل زمان برای رسیدن به مقصد

این مزایا به‌دلیل بازار رقابتی تاکسی‌های اینترنتی است و تاکسی‌های اینترنتی برای رقابت با یکدیگر و سایر وسایل حمل و نقل عمومی، این ویژگی‌ها را در اختیار کاربران قرار می‌دهند. از سوی دیگر در انتخاب مردم عوامل شناخته یا ناشناخته متعددی می‌توانند دخیل باشند که عوامل هزینه و زمان را دستخوش تغییر می‌سازند. می‌توان حدس زد که عوامل فرهنگی–اجتماعی و دیدگاه‌های شخصی و سنی در این زمینه نقش دارند. برای مثال ممکن است افرادی به هر ترتیب مشتری اتوبوس باشند و استفاده از انواع تاکسی را در نظر نگیرند. محصلین نیز ممکن است بنا به اقتضائات سنی و صنفی بیشتر از اتوبوس استفاده کنند. همچنین استفاده از تاکسی‌های اینترنتی برای بسیاری از افراد سالخورده مقدور نیست. افرادی نیز طبعاً به دلیل مشغله کاری و یا به دلایل فرهنگی هیچوقت از اتوبوس استفاده نمی‌کنند. بر روی هم رفته رفتارهای پیچیده انسان از جمله ریسک‌پذیری و

ریسک‌گریزی در جوامع به سادگی قابل شناسایی نیست و همین امر موجب می‌شود تصمیم‌گیری‌های افراد با آنچه محاسبات نشان می‌دهد که بهینه است متفاوت باشد. کمی-سازی بسیاری از معیارهای مورد نظر افراد (برای مثال زیبایی منظر) بسیار دشوار و یا غیر ممکن است و همین مسأله یکی از موانع مدلسازی سیستمهای جوامع انسانی است. با این حال این پیچیدگی‌ها مانع سودمندی مدلسازی‌ها نخواهد بود و نتایج مدلسازی همواره اطلاعات مفیدی را برای مدیریت و برنامه‌ریزی ارائه می‌نماید. از سوی دیگر برای اینکه مدل توسعه داده شده در این تحقیق بتواند جنبه استفاده عمومی پیدا کند لازم است که در جهت ارائه آن در بستر تلفن همراه اقدام شود که این امر نیاز به فراهم نمودن زیرساخت و نیز پشتیبانی مالی و حقوقی دارد.

این تحقیق با دو رویکرد مدلسازی و میدانی سعی بر آن داشت تا انتخاب افراد در استفاده از ساخت‌های حمل و نقل عمومی را تحلیل نماید. نبود داده‌های مناسب ما را بر آن داشت که خود اقدام به جمع‌آوری داده نماییم. با داشتن داده‌های مناسب و پرتعداد پیشنهاد می‌شود عواملی همچون سن و شغل افراد نیز در تحقیقات آینده مورد استفاده قرار گیرد.

٦. پی‌نوشت‌ها

1- Multi-modal agent-based system
2- Origin-Destination
3- Agents
4- Dijkstra
5- Multi-Agent Transport Simulation
6- Principal Component Analysis
7- Cost
8- Time
9- Safety
10- Comfortness

٧. منابع

-Bandini, S., Manzoni, S. and Vizzari, G. (2009). "Agent based modeling and simulation: an informatics perspective". Journal of Artificial Societies and Social Simulation, Vol. 12, No. 4, pp. 1-4 .

-Berryman, M. (2008). "Review of software platforms for agent based models." Land Operations Division DSTO Defence Science and Technology Organisation, Australia.

-Bezyak, J .L., Sabella, S., Hammel, J., McDonald, K., Jones, R. A., and Barton, D. (2020). "Community participation and public transportation barriers experienced by people with disabilities." Disability and rehabilitation, Vol. 42, No. 23, pp. 3275-3283 .

-Bradshaw, J. M., Suri, N ,.Breedy, M., Cañas, A., Davis, R., Ford, K., Hoffman, R., Jeffers, and Reichherzer, T. (2001). "Terraforming cyberspace." Computers, Vol. 34, No. 7, pp. 48-56 .

-Chen, J., Ni, J., Xi, C., Li, S., and Wang, J. (2017). "Determining intra-urban spatial accessibility disparities in multimodal public transport networks." Journal of Transport Geography, Vol. 65, pp. 123-133.

-Chen, S., Tan, J., Claramunt, C., and Ray, C. (2011). "Multi-scale and multi-modal GIS-T data model ." Journal of Transport Geography, Vol, 19, No. 1, pp. 147-161.

-Chow, A. H., Han, K., and Achuthan, K. (2016). "An agent-based analysis of transport network vulnerability and resilience with provision of travel information." 6 th International Symposium on Dynamic Traffic Assignment (Sydney, 28-30 June, 2016).

-Crooks, A. T., and Castle, C. J. (2012). "The integration of agent-based modelling and geographical information for geospatial simulation." In Agent-based models of geographical systems, (pp. 219-251): Springer.

-Delmelle, E. C., and Casas, I. (2012). "Evaluating the spatial equity of bus rapid transit-based accessibility patterns in a developing country: The case of Cali, Colombia." Transport Policy, Vol. 20, pp. 36-46.

-Farid, D. M., Zhang, L., Rahman, C. M., Hossain, M. A. and Strachan, R. (2014). "Hybrid decision tree and naïve Bayes classifiers for multi-class classification tasks." Expert Systems with Applications, Vol. 41, No. 4, pp. 1937-1946 .

-Fletterman, M. (2008). "Designing multimodal public transport networks using metaheuristics." University of Pretoria , South Africa.

-Genesereth, M. R. (1994). "Software Agents." Michael R. Genesereth Logic Group Computer Science Department, Stanford University .

-Hosseinali, F., Alesheikh, A. A., and Nourian, F. (2013). "Agent-based modeling of urban land-use development, case study : Simulating future scenarios of Qazvin city." Cities, Vol. 31, pp. 105-113 .

-Hosseinali, F., and Azizkhani, M. (2016). "Developing an agent-based model for spatial simulation of pedestrian's behavior passing across the street and using the pedestrian bridges." Journal of Geospatial Information Technology, Vol. 4, No. 2, pp. 65-81.

-Macal, C., and North, M. (2005). "Tutorial on agent-based modeling and simulation." Paper presented at the Proceedings of the Winter Simulation Conference, 2005.

-Niger, M. (2019). "Rationalizing Public Transport system of Dhaka city: Proposal of Creating a Multimodal Hierarchical Transport Network to Reduce Traffic Congestion." Journal of Environmental Design and Planning, Vol. 16, pp. 1-14 .

-Seaborn, C., Attanucci, J., and Wilson, N. H. M. (2009). "Analyzing multimodal public transport journeys in London with smart card fare payment data." Journal of the Transportation Research Board, Vol. 2121, No. 1, pp. 55-62 .

-Tahmasbi, B., and Haghshenas, H. (2019). "Public transport accessibility measure based on weighted door to door travel time." Computers, Environment and Urban Systems, Vol. 76, pp. 163-177 .

-Yen, B. T. H., Mulley, C., Tseng, W. C., and Chiou, Y. C. (2018). "Assessing interchange effects in public transport: A case study of South East Queensland, Australia." Case Studies on Transport Policy, Vol. 6, No. 3, pp. 364-375.

-Zhang, J ,Liao, F., Arentze, T., and Timmermans, H. (2011). "A multimodal transport network model for advanced traveler information systems." Procedia - Social and Behavioral Sciences, Vol. 20, pp. 313-322.

مبشر کاظمی، درجه کارشناسی در رشته مهندسی عمران–نقشه برداری را در سال ۱۳۹۶ از دانشگاه آزاد واحد قزوین اخذ نمود. وی در حال حاضر مشغول اخذ مدرک کارشناسی ارشد در رشته مهندسی نقشه‌برداری–سیستم اطلاعات مکانی از دانشگاه تربیت دبیر شهیدرجایی می‌باشد. زمینه پژوهشی مورد علاقه ایشان حمل و نقل عمومی و سیستم‌های عامل–مبنا و برنامه نویسی پیشرفته است.

فرهاد حسینعلی، در سال ۱۳۸۱ درجه کارشناسی را در رشته مهندسی عمران–نقشه‌برداری از دانشگاه صنعتی خواجه‌نصیرالدین طوسی و در سال ۱۳۸۵ درجه کارشناسی ارشد را در رشته مهندسی عمران–سیستم اطلاعات جغرافیایی (GIS) از پردیس دانشکده‌های فنی دانشگاه تهران اخذ نمود. وی در سال ۱۳۹۱ موفق به کسب درجه دکتری در رشته مهندسی عمران–نقشه‌برداری گرایش (GIS) از دانشگاه صنعتی خواجه‌نصیرالدین طوسی گردید. زمینه‌های پژوهشی مورد علاقه ایشان هوش محاسباتی، سامانه‌های عامل–بنیان، تصمیم‌گیری چندمعیاره و مدلسازی شهری بوده و در حال حاضر عضو هیأت علمی دانشگاه تربیت دبیر شهید رجایی با مرتبه استادیار است.