نشریه علمی مهندسی فناوری اطلاعات مکانی

سال دهم، شماره اول، بهار ۱۴۰۱

Vol.10, No.1, Spring 2022

۳۹ -۶۷

مقاله پژوهشی

DOR: 20.1001.1.20089635.1401.10.1.5.9

تأثیر دسترسی به اطلاعات مکانی و کاربری‌ها بر رفتار سفر در مدیریت اختلال در شبکه معابر شهر هوشمند

فاطمه مهدوی پیکانی[۱]، رحیم علی عباسپور[۲*] ، مهسا ناصری[۳]

۱- دانشجوی کارشناسی ارشد سیستم‌های اطلاعات مکانی، دانشکده مهندسی نقشه‌برداری و اطلاعات مکانی، دانشکدگان فنی، دانشگاه تهران

۲- دانشیار گروه سیستم‌های اطلاعات مکانی، دانشکده مهندسی نقشه‌برداری و اطلاعات مکانی، دانشکدگان فنی، دانشگاه تهران

۳- دانشجوی دکترای حمل‌ونقل، دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه موناش، استرالیا

تاریخ دریافت مقاله: ۱۴۰۰/۱۰/۱۳ تاریخ پذیرش مقاله: ۱۴۰۱/۰۱/۲۲

چکیده

امروزه هوشمندسازی شهری و دسترسی به اطلاعات مکانی منتشرشده، موجب شده است که این اطلاعات در تصمیمات روزانه شهروندان تأثیر بگذارد و رفتار سفر آن‌ها را تغییر دهد. باوجوداینکه این اطلاعات گامی مهم در جهت هوشمندسازی شهری به شمار می‌رود و می‌تواند کمک شایانی به افراد کند؛ اما از سویی دیگر می‌تواند مشکلات جانبی را به همراه داشته باشد. در شرایط بحرانی شبکه، هنگامی‌که مسیری به علت حادثه و یا تعمیرات مسیر مختل می‌شود، برنامه‌های ارائه‌دهنده اطلاعات مکانی، گزینه‌هایی را به افراد پیشنهاد می‌دهند که کاملاً کاربر محور بوده و به معیارهایی همچون ویژگی‌های مکانی، کاربری‌ها و وضعیت ساکنین توجهی ندارد. در مقاله حاضر ابتدا تأثیر دسترسی به اطلاعات مکانی بر روی رفتار مسافران مورد بررسی قرارگرفته است و نشان داده شده است که ارائه اطلاعات مکانی مسافر محور به مسافران ممکن است باعث کاهش مطلوبیت دیگر مسافران و ساکنین شود؛ بنابراین راه‌حلی پیشنهاد شده است که از یک‌سو مطلوبیت مسافران در شرایط اختلال را به حداکثر می‌رساند و از سویی دیگر مطلوبیت دیگر افراد درگیر با این موضوع را حفظ می‌نماید. بدین منظور، در طراحی اطلاعات مکانی ارائه‌شده به مسافران، معیار کاربری‌ها موردتوجه قرار گرفته است. برای ارزیابی راه حل پیشنهادی از مدل عامل مبنا استفاده شده است و از سه سناریو «بدون اطلاعات»، «اطلاعات کامل» و «اطلاعات کامل با در نظر گرفتن کاربری‌های خاص» برای بررسی رفتار مسافران استفاده شده است. داده مورداستفاده به‌منظور ارزیابی ایده پیشنهادی، مربوط به بندر الیزابت در خلیج نلسون ماندلا است. نتایج نشان داد که دسترسی به اطلاعات می‌تواند منجر به کاهش زمان کل سفر، کاهش تأخیر احتمالی مسافران و افزایش رضایت مسافران در هنگام اختلال در شبکه شود. پس‌ازآن نشان داده شده است که ایده پیشنهادی در مورد استفاده از کاربری‌های خاص در طراحی اطلاعات مکانی نه‌تنها سودمندی‌های ذکرشده برای مسافران را حفظ می‌نماید بلکه سودمندی همه‌جانبه برای تمامی افراد درگیر با این مسئله را نیز فراهم می‌نماید.

کلید واژه‌ها : دسترسی به اطلاعات، مدیریت اختلال، طراحی اطلاعات، رفتار سفر، شبیه‌سازی عامل مبنا.

* نویسنده مکاتبه کننده: تهران- خیابان انقلاب- خیابان کارگر شمالی- دانشکدگان فنی- دانشکده مهندسی نقشه‌برداری و اطلاعات مکانی.

تلفن: ۰۲۱۸۸۰۰۸۸۴۱

Email: abaspour@ut.ac.ir

۱- مقدمه

یکی از اساسی‌ترین زیرساخت‌های لازم برای افزایش سطح رفاه اجتماعی هر کشور و توسعه شهری هوشمند، وجود حمل‌ونقلی هوشمند، روان و ایمن است. امروزه وجود مشکلات حمل‌ونقلی همچون افزایش خسارات مالی و معنوی ناشی از سوانح و تصادفات و افزایش زمان‌های تلف‌شده در این حین و همچنین رشد سریع تقاضای حمل‌ونقل به‌ویژه در ساعات اوج در کلان‌شهرهای دنیا، به یک مشکل جدی تبدیل شده است و مدیران را به توسعه حمل‌ونقلی هوشمند برای حل و یا کاهش چنین مشکلاتی، واداشته است. در سیستم‌های حمل‌ونقل هوشمند، فناوری‌های متفاوتی بکار می‌رود. از سیستم‌های اولیه‌ای مانند سیستم کنترل چراغ‌های راهنمایی گرفته تا سیستم‌های پیشرفته و پیچیده‌تری که به‌طور هم‌زمان اطلاعات مختلفی را از منابع متفاوت دریافت کرده و یکپارچه می‌کند. این اطلاعات، همچون وضع آب‌وهوا، وضعیت ترافیک، وضعیت جاده‌ای، می‌تواند در تصمیمات روزانه شهروندان تأثیر بگذارند و رفتار سفر آن‌ها را تغییر دهد. وجود این اطلاعات به بهبود تجربه فرد از سفر خود و افزایش کارایی سیستم حمل‌ونقل کمک می‌کند. این اطلاعات به‌ویژه در مواقع ازدحام ترافیکی به علت رخداد حادثه، تعمیرات مسیر و غیره، می‌تواند یاری‌رسان مسافران باشد. سطح دسترسی به این اطلاعات، تعیین‌کننده میزان اثرگذاری آن بر رفتار سفر شهروندان است. به‌عبارت‌دیگر، هرچقدر که شهروندان دسترسی بالاتری به این اطلاعات داشته باشند، بیشتر از این اطلاعات در تصمیمات سفر خود استفاده کرده و از مزایای آن بهره‌مند می‌گردند [۱]. وجود این اطلاعات و دسترسی به آن باعث می‌شود که افراد متناسب با وضعیت شبکه حمل‌ونقل، سفر خود را برنامه‌ریزی نمایند. اطلاعات سفر به طرق مختلفی در دسترس افراد قرار می‌گیرد. برنامه‌های موبایلی مکان‌مبنا و وب‌سایت‌ها نمونه‌هایی از ابزارهای انتقال این اطلاعات به افراد هستند. در این برنامه‌ها، مجموعه‌ای از معیارها برای پردازش اطلاعات مکانی و ارسال پاسخ به درخواست افراد، مورداستفاده قرار میگیرد. به‌عنوان‌مثال، در هنگام مسیریابی، مسیر بین مبدأ و مقصد بر اساس معیارهای کوتاه‌ترین مسیر، ارزان‌ترین مسیر و یا مسیری که کمترین زمان سفر را داشته باشد، تعیین می‌شود [۳ و ۲].

باوجوداینکه این اطلاعات گامی مهم در جهت هوشمندسازی شهری به شمار می‌رود و می‌تواند کمک شایانی به افراد کند؛ اما از سویی دیگر می‌تواند مشکلات جانبی را به همراه داشته باشد. در شرایط بحرانی شبکه، هنگامی‌که مسیری به علت حادثه و یا تعمیرات مسیر مختل می‌شود، برنامه‌های ارائه‌دهنده اطلاعات سفر، گزینه‌هایی را به افراد پیشنهاد می‌دهند که بر اساس معیارهای از پیش تعریف‌شده، مسافت و زمان سفر را کمینه می‌کنند، به‌عبارتی‌دیگر، طراحی این اطلاعات به‌گونه‌ای است که پیشنهاد گزینه‌های سفر برمبنای افزایش مطلوبیت سفر از دید کاربر است و کاربر در محوریت قرار می‌گیرد [۴]. این در حالی است که ممکن است با محوریت قرار دادن کاربر در این مسئله، سودمندی دیگر افراد کاهش یابد. به‌عبارتی‌دیگر، هنگام اختلال در شبکه، با هدایت مسافران به مسیرهایی که سودمندی سفر آن‌ها را افزایش می‌دهد، بدون در نظر گرفتن این مسئله که ممکن است با هجوم مسافران به این مسیرها، سودمندی سفر دیگر افراد کاهش یابد و یا باعث نارضایتی ساکنین محلی این مسیرها شود، موضوعی است که موردتوجه این تحقیق است. بنابراین طراحی اطلاعات باید به‌گونه‌ای باشد که نه‌تنها مسافر را به حداکثر سودمندی در سفر رهنمون سازد، بلکه سودمندی سایر افراد درگیر با این مسئله نیز در نظر گرفته شود. سؤالی که مطرح می‌شود و در این مطالعه قرار است بدان پاسخ داده شود، این است که چگونه می‌توان در طراحی اطلاعات از مدل‌های موجود استفاده کرد و ارتباط دوسویه بین شبکه و اطلاعات ایجاد کرد به‌گونه‌ای که بتوان در شرایط اختلال، با توجه به

ویژگی‌های مکانی شبکه، ازجمله کاربری‌های خاص، اطلاعاتی پویا و بهینه به مسافران ارائه داد به‌نحوی‌که به بهترین وجه ممکن شرایط پیش‌آمده را مدیریت نمود.

به‌طورکلی در این مطالعه هدف این است که ابتدا تأثیر دسترسی به اطلاعات بر رفتار سفر افراد مورد تحلیل و بررسی قرار گیرد و پس‌ازآن نشان داده شده است که همان‌طور که در یک شهر هوشمند دسترسی به اطلاعات رضایت مسافران را بالا می‌برد، می‌تواند باعث نارضایتی دیگر افراد و ساکنین محلی شود. بنابراین، اصلی‌ترین هدف که این تحقیق را نسبت به دیگر تحقیقات انجام‌شده متمایز می‌کند، معرفی راه‌حلی بهینه برای مدیریت اختلال است. راه‌حل پیشنهادی شامل در نظر گرفتن کاربری‌های خاص در اطلاعات ارائه‌شده به مسافران و ارزیابی رفتار مسافران در حضور و عدم حضور معیار کاربری‌ها در اطلاعات مکانی ارائه‌شده است به‌نحوی‌که هم مسافران به حداکثر مطلوبیت سفر خود دست یابند و هم مطلوبیت ساکنین و دیگر افراد در مسیرهای پیشنهادشده به مسافران، حفظ شود. در پایان نیز ارزیابی شده است که این فرضیه (راه‌حل پیشنهادی قادر به حفظ مطلوبیت همه‌جانبه است) فرضیه‌ای قابل‌قبول است یا خیر. بدین منظور، برای تحلیل رفتاری مسافران در هنگام مواجهه با اختلالات شبکه از ابزار شبیه‌ساز حمل‌ونقل چندعاملی متسیم[1] *(MATSim)* که یک محیط شبیه‌سازی خرد مبتنی بر عامل را فراهم می‌کند، استفاده شده است. مدل عامل مبنا این امکان را فراهم می‌کند که رفتار هر مسافر را به‌صورت کاملاً فردی بررسی و مدل‌سازی نموده و توسط آن، رفتار مسافران را پیش‌بینی کرد و بر اساس آن اطلاعات سفر را به‌طور بهینه طراحی نمود.

به‌طورکلی در مقاله حاضر، برای ارزیابی تأثیر در دسترس بودن اطلاعات بر رفتار مسافران سه سناریو در محیط متسیم اجرا شده است و در آن دو سطح دسترسی به اطلاعات به شرح زیر مورد ارزیابی قرارگرفته است:

- بدون اطلاعات. در این حالت عامل‌ها که بیانگر مسافران در محیط شبیه‌سازی هستند، هیچ‌گونه اطلاعاتی از تغییر و رخدادی که در قسمتی از شبکه رخ‌داده است و منجر به کاهش ظرفیت و سرعت آن لینک شده است، ندارند و تنها در هنگام مواجهه با آن حادثه، از آن مطلع می‌شوند.
- اطلاعات کامل. در این حالت عامل‌ها اطلاعات کاملی از وضعیت شبکه و تغییرات آن دارند. زمان شروع و پایان هر حادثه یا رخداد کاملاً مشخص است و هر عامل بر اساس اطلاعات کاملی که قبل از سفر به آن دسترسی دارد، اقدام به سفر می‌کند.

پس از مدل‌سازی دسترسی به اطلاعات در دو سطح نامبرده، تأثیر این فاکتور بر روی نحوه انتخاب مسیر انحرافی و بهینه کردن اطلاعات طراحی‌شده بر اساس راه‌حل پیشنهادی یعنی معیارهایی همچون ویژگی‌های مکانی و کاربری‌ها، مورد تحلیل قرارگرفته است. بدین منظور سناریوی دیگری به شرح زیر اجرا شده است:

- اطلاعات کامل با در نظر گرفتن کاربری‌های خاص. در این حالت عامل‌ها همانند سناریوی «اطلاعات کامل»، اطلاعات جامعی از وضعیت شبکه و تغییرات آن دارند با این تفاوت که در این سناریو، نوع کاربری‌ها و شرایطی همچون زمان سفر، موردتوجه قرارگرفته است. در این سناریو، فرض بر آن است که با حفظ سودمندی مسافران و با توجه به زمان سفر آن‌ها، با در نظر گرفتن نوع کاربری (به‌طور خاص مدرسه) در طراحی اطلاعات ارائه‌شده به آن‌ها، تا حد امکان، عبور مسافران منحرف‌شده از لینک دچار اختلال شده به لینک مذکور را کاهش داد و از بروز بسیاری از مشکلات نام‌برده، جلوگیری به عمل آورد.

مقاله حاضر به شرح زیر نگارش شده است. در بخش ۲

[1] *Multi-Agent Transport Simulation*

پیشینه تحقیق در ارتباط با رفتار سفر، اطلاعات مسافر و دسترسی به این اطلاعات و مطالعاتی که درزمینهٔ شبیه‌سازی مبتنی بر عامل انجام شده است، بیان گردیده. در بخش ۳ شرح کلی شبیه‌سازی در قالب سه سناریو مطرح گردیده. در بخش ۴ کلیات شبیه‌سازی عامل مبنا و به‌طور خاص شبیه‌سازی در محیط متسیم به همراه اطلاعات کمی و کیفی داده مورداستفاده توصیف شده است. در بخش ۵ نتایج حاصل از شبیه‌سازی بیان گردیده است. در بخش ۶ نتیجه‌گیری و پیشنهادها ارائه شده است. درنهایت در بخش ۷ منابع معرفی شده‌اند.

۲- پیشینه تحقیق

درزمینهٔ اطلاعات مسافر و دسترسی به آن مطالعات فراوانی انجام شده است چراکه وجود اطلاعات و دسترسی آسان به آن‌یکی از فاکتورهای مهم مدیریت اختلال در یک شهر هوشمند است و می‌توان به‌وسیله آن اختلال پیش‌آمده را به بهترین وجه ممکن مدیریت نمود، به‌طوری‌که کمترین تأثیر منفی را بر روی سفر مسافران داشته باشد. از طرفی دیگر نیز، چگونگی طراحی این اطلاعات می‌تواند تأثیری مستقیم بر رفتار سفر مسافران و افزایش (کاهش) رضایت افراد درگیر با این موضوع داشته باشد و افزایش (کاهش) کارایی سیستم حمل‌ونقل را به دنبال داشته باشد. به‌طورکلی مطالعات انجام‌شده درزمینهٔ اطلاعات و دسترسی به آن و همین‌طور شبیه‌سازی دسترسی به آن را می‌توان به چهار بخش «رفتار سفر»، «اطلاعات مسافر»، «دسترسی به اطلاعات و تأثیر آن بر رفتار سفر» و درنهایت، «شبیه‌سازی مبتنی بر عامل»، تقسیم نمود که به شرح زیر است.

۲-۱- رفتار سفر

مقالات متعددی در زمینه رفتار سفر منتشرشده است. اساس اکثر این مطالعات بر پایه نظریه‌های رفتاری و روان‌شناختی است. این نظریه‌ها گزینه‌ای مناسب برای مدل‌سازی رفتار مسافران در شرایط مختلف شبکه و چگونگی تصمیم‌گیری و انتخاب آن‌ها در مورد حالت‌های مختلف سفر هستند [۶]. شاینر[۱] (۲۰۱۸) به مفاهیم کلیدی در مورد چرایی تغییر رفتار سفر که از مفاهیم روانشناسی و جامعه‌شناسی گرفته‌شده، پرداخته و در مورد عواملی که باعث مقاومت در برابر تغییر رفتار می‌شوند (عادات، شخصیت‌ها، پرهیزها و...) در مقابل عواملی که باعث ایجاد تغییر در رفتار می‌شوند (مانند تغییر نیازها، فرصت‌ها، یا توانایی‌ها، انگیزه، استرس و ...) بحث کرده است که نشان می‌دهد نظریه‌های رفتاری می‌توانند گزینه‌ای مناسب برای مدل‌سازی رفتار سفر افراد باشند [۷].

عوامل زیادی وجود دارند که می‌توانند رفتار سفر افراد را تغییر دهند. به عنوان مثال کاربری زمین از عامل مؤثر بر تغییر رفتار سفر معرفی‌شده است و هرچه در یک ناحیه کاربری‌های مختلف وجود داشته باشد، نیاز به سفر به‌ویژه با اتومبیل را کاهش می‌دهد. این موضوع کاهش مسافت را هدف قرار می‌دهد و وقتی مسافت سفر کوتاه‌تر باشد، افراد کمتر سفر می‌کنند و یا احتمال پیاده‌روی یا دوچرخه‌سواری را بیشتر می‌کند [۸]. سواد ریاضی و مالی نیز یکی از عوامل تأثیرگذار بر رفتار سفر است و هرچه این نوع از سواد در افراد بیشتر باشد بیشتر از اینترنت استفاده می‌کنند و افرادی که بیشتر از اینترنت استفاده می‌کنند نیز بیشتر سفر می‌کنند [۹]. تأثیرگذاری دسترسی به اینترنت بر رفتار سفر افراد به نوع فعالیت بستگی دارد، به عنوان مثال در فعالیت‌هایی همچون فعالیت کار و یا تحصیل، دسترسی به اینترنت می‌تواند باعث کمتر شدن سفر افراد شود درصورتی‌که در مورد فعالیت‌های تفریحی نتیجه برعکس خواهد بود و دسترسی به اینترنت و دیدن تجربیات مثبت دیگر کاربران از یک سفر، باعث ترغیب افراد برای داشتن سفری مشابه خواهد شد. دسترسی به اطلاعات نیز یکی از عوامل مؤثر بر رفتار سفر معرفی‌شده که در بخش‌های بعدی شرح داده‌شده است.

[۱] *Scheiner*

۲-۲- اطلاعات مسافر

اطلاعات مسافران در زمینه‌های مختلفی طراحی، تولید و منتشر می‌شوند. در این اطلاعات، مسافر در محوریت قرار دارد و تمامی مراحل طراحی، تولید و انتشار اطلاعات در جهت افزایش سودمندی و رضایت از سفر برای مسافران و همچنین افزایش کارایی سیستم حمل‌ونقل است. در تحقیقات موجود، از جنبه‌های مختلفی بر روی این مسئله بحث شده است. به‌طورکلی مطالعات انجام‌شده در این زمینه را می‌توان به سه دسته کلی تقسیم نمود.

- در دسته اول، اطلاعات به‌منظور مسیریابی بهینه طراحی و تولید می‌شوند. در این اطلاعات تمرکز بر معیارهای مسیریابی همچون کمترین مسافت، کمترین زمان، کمترین هزینه، کم زاویه‌ترین مسیر و کم پیچ‌وخم‌ترین مسیر است. این اطلاعات از یک‌سو به مسافران کمک می‌کند که در هنگام مواجهه با اختلال در شبکه، مسیر انحرافی بهینه را انتخاب کنند و از سویی دیگر به کارایی شبکه کمک می‌کند [۱۰ و ۱۱].
- در دسته دوم، تمرکز بر روی طراحی منابع اطلاعاتی است. در این دسته، طراحی به‌گونه‌ای است که اطلاعات تولیدشده حداکثر منابع اطلاعاتی موردنیاز مسافر را دربر بگیرد. کم و همکارانش (۲۰۱۷) با در نظر گرفتن سیستم‌های اطلاعات مسافر پیشرفته[1] و سایر منابع موجود در وب، در جهت بهبود سازگاری، کامل بودن و شخصی‌سازی، راه‌حلی را ارائه داده‌اند و یک طرح به نام «اطلاعات سفر پیشرفته مسافر محور» متصور شده‌اند که منابع وب را به روشی یکپارچه کشف و بهره‌برداری می‌کند تا راه‌حل‌های سفر متناسب با نیاز مسافران ایجاد کند [۴].
- در دسته سوم، مطالعات انجام‌شده به نحوه انتشار اطلاعات برای افزایش اثربخشی آن پرداخته‌اند. در مطالعه‌ای که توسط گی و همکارانش (۲۰۱۷) صورت گرفت اهمیت نحوه ارائه این اطلاعات بیشتر شد. آن‌ها از تابلوها برای انتشار اطلاعات استفاده کردند اما درنهایت نتیجه گرفتند که دوسوم افراد هرگز از این اطلاعات استفاده نکرده‌اند چراکه به نقل از خود شرکت‌کنندگان در این تحقیق، دریافت اطلاعات از طریق تلفن همراه هوشمند نسبت به تابلوهای اطلاعات، خوشایندتر است [۱۲].

در مطالعاتی که در این بخش معرفی شد، تمامی مراحل تا ارائه اطلاعات به مسافران کاملاً مسافر محور بوده است. به‌عبارتی‌دیگر در اطلاعات طراحی‌شده تمامی تمرکز محققین معطوف بر حداکثر سازی مطلوبیت سفر از دید مسافر است، درحالی‌که با مسافر محور نمودن طراحی اطلاعات، مطلوبیت سفر و یا رضایت دیگر افراد ممکن است کاهش یابد؛ بنابراین در تحقیق حاضر سعی شده است علاوه بر حداکثر سازی مطلوبیت سفر مسافران، با در نظر گرفتن معیارهایی همچون کاربری‌های خاص، مطلوبیت سفر و یا رضایت سایر افراد درگیر با این مسئله را نیز به حداکثر برسانیم.

۲-۳- دسترسی به اطلاعات و تأثیر آن بر رفتار سفر

امروزه با هوشمند سازی شهری و پررنگ شدن نقش اطلاعات در سفرهای روزانه افراد باعث شده است که دسترسی به اطلاعات یکی از عوامل تأثیرگذار بر رفتار سفر مسافران شود. هرچه مسافران دسترسی بالاتری به اطلاعات داشته باشند، بیشتر از اطلاعات استفاده کرده و از آن تأثیر می‌پذیرند. به‌عنوان‌مثال ون وی و همکارانش (۲۰۱۳) به این نتیجه رسیدند که دسترسی به اطلاعات یکی از عواملی است که تغییر رفتار سفر را به دنبال دارد و بر دسترسی‌های فردی اثرگذار است [۱۳]. در مطالعه‌ای که توسط فوتیس (۲۰۱۵) انجام شد شبکه‌های اجتماعی به‌عنوان منبعی برای دستیابی به اطلاعات و تأثیرگذار بر رفتار سفر مسافران، معرفی

[1] *Advance Traveller Information System*

شده است [۱۴]. در پژوهشی که توسط منگ و همکارانش (۲۰۱۸) صورت گرفت، تأثیر اطلاعات بر رفتار سفر افراد و انتخاب ساخت[۱] حمل‌ونقل نشان داده شد [۱۵]. در تحقیقی دیگر که توسط الآدامات و همکارانش (۲۰۲۰) انجام شد نشان دادند تبلیغات آنلاین که به‌نوعی اطلاعاتی را در اختیار افراد قرار می‌دهد تغییر رفتار سفر را در پی خواهد داشت [۱۶]. در مطالعه‌ای که توسط پرونلو و همکارانش (۲۰۱۷) انجام شد، نتیجه گرفتند اطلاعات حمل‌ونقل چندحالته بلادرنگ[۲] از مواردی است که با در اختیار گذاشتن اطلاعاتی پویا، به‌موقع و دقیق در مورد سرویس‌های حمل‌ونقل، مانند زمان رسیدن وسیله نقلیه، به‌روزرسانی‌های در دسترس بودن سرویس و اعلان‌های تغییر خدمات، با دسترسی به اطلاعات، تغییر در رفتار سفر افراد را به دنبال خواهد داشت [۱۷].

در تحقیقات ذکرشده در این بخش از مدل‌های ریاضی بهینه‌سازی برای بررسی فاکتورهای بیان‌شده بر روی رفتار سفر استفاده‌شده است، این در حالی است که مدل‌سازی گزینه‌های مختلف دسترسی به اطلاعات با توجه به تفاوت‌های رفتاری مسافران می‌تواند بسیار پیچیده باشد، به‌طوری‌که مدل‌های ریاضی و بهینه‌سازی نمی‌تواند پاسخگوی چنین مسئله‌ای باشد، بنابراین نیاز به مدل‌سازی به روش شبیه‌سازی است. مدل‌های شبیه‌سازی مبتنی بر عامل بهترین گزینه برای این تحقیق هستند، چراکه در این نوع شبیه‌سازی، هر مسافر به‌عنوان یک عامل در نظر گرفته می‌شود که بر اساس ادراک خود از وضعیت شبکه حمل‌ونقل، تصمیمات مستقلی را برای به حداکثر رساندن سفر خود می‌گیرد؛ بنابراین در تحقیق حاضر، تأثیر سطوح مختلف دسترسی به اطلاعات شبکه حمل‌ونقل با توجه به تفاوت‌های رفتاری مسافران توسط مدل‌های عامل مبنا موردبررسی و ارزیابی قرار می‌گیرد.

[۱] *mode*

[۲] *multimodal real time information*

۲-۴- شبیه‌سازی مبتنی بر عامل

مدل‌سازی به روش عامل مبنا و نرم‌افزارهای موجود در این زمینه با گذشت زمان پیشرفت و توسعه یافته‌اند. نمونه‌هایی از این موارد ایمسون[۳] [۱۸] است که بر شبیه‌سازی شرایط ترافیکی در یک شبکه شهری تمرکز دارد همچنین سوموی[۴] *(SUMO)* برای شبیه‌سازی چندحالته ترافیک جاده‌ای ایجاد شده است. علاوه بر این، شبیه‌سازهای تقاضای مبتنی بر فعالیت مانند آلباتروس[۵] *(ALBATROSS)*[۱۹] و فیدرز[۶] *(FEATHERS)*[۲۰] نیز توسعه یافتند. می‌توان گفت اولین شبیه‌سازی مبتنی بر عامل در مقیاس بزرگ[۷] و کاملاً یکپارچه ترنسیم[۸] *(TRANSIMS)* است. به دنبال آن سایر چارچوب‌های شبیه‌سازی توسعه و بهبود یافتند. این موارد شامل متسیم، سیموبیلیتی[۹] *(SimMobility)* و پولاریس[۱۰] هستند. متسیم، مشابه ترنسیم است و برای حل برخی از چالش‌های استفاده از ترنسیم ساخته شده است. متسیم یک شبیه‌ساز جریان ترافیک میکروسکوپی با رویکرد فعالیت‌مبنا است که برای تعیین ترافیک پویا استفاده می‌شود. متسیم با ردیابی برنامه‌ها و تصمیمات روزانه مسافران مصنوعی (عامل‌ها)، یک مدل کاملاً یکپارچه از جریان ترافیک و ازدحام حاصل از آن را ایجاد و مدل‌سازی می‌کند. در بسیاری از مطالعات از متسیم برای شبیه‌سازی استفاده کرده‌اند. در مطالعه لنگ و کورمن (۲۰۲۰) اثر دسترسی به اطلاعات اختلال در حمل‌ونقل با استفاده از مدل عامل مبنا در متسیم، رفتار عامل‌ها بررسی شد و

[۳] *AIMSUN*

[۴] *Simulation of Urban Mobility*

[۵] *A Learning-Based TRansportation Oriented Simulation System*

[۶] *Forecasting Evolutionary Activity-Travel of Households and their Environmental Repercussions*

[۷] *Large-scale*

[۸] *TRansportation ANalysis SIMulation System*

[۹] *Simulation Mobility*

[۱۰] *Polaris*

نتیجه گرفتند که داشتن اطلاعات رضایتمندی مسافران را به دنبال دارد [۱]. در پژوهشی دیگر، از سه استراتژی انتخاب مسیر بر اساس سطوح مختلف سازگاری در محیط متسیم برای ارزیابی تأخیرهای مسافری در سیستم‌های حمل‌ونقل عمومی چندحالته استفاده شده است [۲۱]. در مطالعه دیگر، مدل‌سازی حوادث ترافیکی توسط متسیم صورت گرفته است [۲۲]. مقالات دیگری نیز فاکتورهایی مانند اثر شرایط غیرمنتظره آب و هوایی [۲۳] و اطلاع‌رسانی به مسافران در صورت شرایط بد آب و هوایی [۲۴] و تأثیر آن بر رفتار سفر افراد را با استفاده از مدل عامل مبنا در محیط متسیم ارزیابی نموده‌اند.

تفاوت عمده تحقیق حاضر با تحقیقات مشابهی همچون لنگ کورمن (۲۰۲۰) و بومان (۲۰۱۷) این است که:

- تحقیق حاضر بر روی رفتار سفر با در نظر گرفتن ساخت «خودروی شخصی» تمرکز دارد؛ درحالی‌که در مطالعات ذکرشده ساخت «حمل‌ونقل عمومی» را موردبررسی قرار داده‌اند. این موضوع بسیار حائز اهمیت است، چراکه در تحقیقات ذکرشده با در نظر گرفتن حالت حمل‌ونقل عمومی، تنها بر روی تغییر در جداول زمانی وسایط نقلیه عمومی تمرکز دارند و تغییر مسیر سفر مسافران وابسته به تغییر خط وسیله حمل‌ونقل عمومی است درصورتی‌که در مطالعه حاضر سعی شده است بیشترین آزادی عمل برای عامل‌ها در تغییر مسیر فراهم شود و عامل‌ها با توجه به این موضوع که ساخت خودروی شخصی را دارا می‌باشند، در هنگام مواجهه با اختلال رخ‌داده، رفتاری کاملاً فردی و فارغ از خطوط از پیش تعیین‌شده برای وسایط حمل‌ونقل عمومی، اقدام به تغییر مسیر می‌نمایند.
- تحقیقات مذکور ازجمله لنگ و کورمن (۲۰۲۰)، شبیه‌سازی و نتایج آن را تنها برای اثبات مفید بودن دسترسی به اطلاعات برای مسافران و حفظ سودمندی سفر آن‌ها انجام داده‌اند درحالی‌که در مطالعه حاضر، این مسئله را مقدمه‌ای برای بررسی هدف اصلی تحقیق که ارزیابی حفظ مطلوبیت همه‌جانبه است، قرار داده و نشان داده شده است که مطالعات مذکور با محوریت قرار دادن مسافر در مسئله، ممکن است در جهت بر هم زدن وضعیت مطلوب دیگر مسافران و یا ساکنین گام بردارند. بر این اساس، در مطالعه حاضر سعی شده است راه‌حلی برای این مسئله ارائه شود و در پایان نیز ارزیابی شده است که آیا این فرضیه که راه‌حل پیشنهادی قادر به حفظ مطلوبیت همه‌جانبه است، فرضیه‌ای قابل‌قبول است یا خیر.

۳- سناریوهای شبیه‌سازی

هنگامی‌که اختلالی در شبکه رخ می‌دهد، مسافران تلاش می‌کنند تا سفر خود را با کمترین مسافت و زمان ممکن به اتمام برسانند. با هوشمندسازی حمل‌ونقل شهری و تهیه و ارائه اطلاعاتی همچون اطلاعات ترافیکی و مسیریابی و دسترسی آسان به آن می‌تواند در چنین شرایطی یاری‌رسان مسافران باشد و به میزان قابل‌توجهی از اثرات منفی اختلال پیش‌آمده بکاهد. اثرپذیری از این اطلاعات می‌تواند متفاوت باشد. این تفاوت در چندین بعد قابل‌تعریف است. به‌طورکلی دسترسی به اطلاعات در چهار بعد خلاصه می‌شود که عبارت‌اند از: «چه کسانی، چه زمانی، چه اطلاعاتی و کجا» [۱]. در بعد «چه کسانی» منظور افرادی است که دسترسی به اطلاعات و یا توانایی استفاده از آن را دارند. در هنگام طراحی اطلاعات باید به این نکته توجه شود که افراد با ویژگی‌های فردی مختلف، دسترسی متفاوتی به اطلاعات دارند [۲۵]. بعد «چه زمانی» منظور زمانی است که مسافران به اطلاعات دسترسی پیدا می‌کنند، به‌عنوان‌مثال در هنگام اختلال در شبکه، مسافران می‌توانند قبل از وقوع اختلال اطلاع کامل داشته باشند و یا هم‌زمان با شروع اختلال مطلع شوند. در بعد «کجا» منظور مکان مسافران است، جایی که آن‌ها به اطلاعات دسترسی پیدا می‌کنند. در بدترین حالت مسافران تنها در مکان رخداد اختلال و با مواجهه با آن از آن آگاه

می‌شوند و یا در بهترین حالت اینکه توسط داده تلفن همراه هوشمند با دسترسی به اینترنت در هر مکانی به اطلاعات دسترسی داشته باشند. در بعد «چه» منظور محتوای اطلاعاتی است که مسافر می‌تواند به آن دسترسی داشته باشد. با توجه به چهار بعد توصیف‌شده، می‌توان سناریوهای شبیه‌سازی دسترسی مسافران به اطلاعات و اثرپذیری از آن و همین‌طور ایده پیشنهادی معرفی‌شده در بخش مقدمه را توضیح داد که در دو بخش بعدی شرح داده شده است.

۳-۱- بدون اطلاعات در مقابل اطلاعات کامل

یکی از سطوح دسترسی به اطلاعات، سطح «بدون اطلاعات» است. در این سطح از دسترسی «هیچ‌کدام» از مسافران «هیچ‌گونه» اطلاعاتی از اختلال به وجود آمده و گزینه‌های جایگزین ندارد. در این شرایط واکنش مسافر دو حالت دارد، یک اینکه تغییری در رفتار خود ایجاد نکرده و رفتار قبلی خود را ادامه داده تا اختلال ایجادشده به اتمام رسد. در این صورت ممکن است سودمندی سفر مسافر به‌شدت کاهش‌یافته و منجر به مواردی همچون تأخیر در شروع فعالیت‌های بعدی شود. در حالت دوم، مسافر ممکن است به‌طورکلی فعالیتی را که با اختلال پیش‌آمده تداخل دارد، لغو نماید که البته این مورد بستگی به نوع فعالیت دارد. به‌عنوان‌مثال اگر فعالیتی اجباری باشد مانند سرکار رفتن، احتمال لغو چنین فعالیتی کم است، اما در فعالیت‌هایی چون خرید، تفریح و غیره ممکن است مسافر قصد لغو سفر نماید.

یکی دیگر از سطوح دسترسی به اطلاعات، «اطلاعات کامل» است. در این سطح از دسترسی، مسافران در هر زمانی، حتی قبل از سفر، اطلاعاتی کامل داشته و این موضوع آن‌ها را قادر می‌سازد تا بهترین برنامه‌ریزی را برای سفر خود داشته باشند. در این حالت، «تمامی» مسافران «به‌محض و یا حتی قبل از» اینکه اختلالی در شبکه ایجاد شود، در «هرجایی» که هستند از آن آگاه شده و بهترین واکنش را نسبت به وضعیت ایجادشده خواهند داشت. واکنش مسافران می‌تواند متفاوت باشد، حتی در شرایط یکسان هم رفتار مسافران متفاوت است که این موضوع نشأت گرفته از ماهیت رفتار انسانی در انتخاب و تصمیم‌گیری است. در هنگام اختلال در شبکه و مطلع بودن مسافر از آن، واکنش مسافر به این مسئله می‌تواند منتج به تغییر ساخت سفر، مسیر سفر و یا زمان سفر شود و یا حتی فعالیتی حذف شود؛ بنابراین در هنگامی‌که مسافر به اطلاعات کامل دسترسی داشته باشد، می‌تواند بهترین واکنش را نسبت به وضعیت پیش‌آمده نشان دهد و در جهت حداکثر سازی سودمندی سفر خود گام برداشته و رضایت بیشتری از سفر خود داشته باشد.

۳-۲- اطلاعات کامل با در نظر گرفتن کاربری‌های خاص (سناریو پیشنهادی)

همان‌طور که در بخش قبلی گفته شد، دسترسی به اطلاعات مکانی در جهت افزایش سودمندی سفر مسافران است و منجر به تغییر زمان سفر، ساخت سفر، مسیر سفر، نوع فعالیت و یا حتی کنسل نمودن سفر می‌شود. آنچه که موردنظر این مقاله است این است که این تشویق به تغییر رفتاری که با دسترسی به اطلاعات محقق می‌شود و توسط لنگ و کورمن (۲۰۲۰) نیز بیان شده است، تا چه میزان می‌تواند سودمندی همه‌جانبه را حفظ نماید. اطلاعات سفر همواره در جهت افزایش سودمندی مسافران طراحی، تولید و منتشر می‌شوند. با دسترسی به این اطلاعات، مسافران می‌توانند برنامه‌ریزی بهتری برای سفر خود داشته باشند. هنگامی‌که اختلالی رخ می‌دهد بسیاری از مسافرانی که مسیر دچار اختلال شده بخشی از مسیر سفر آن‌ها بوده است، اقدام به تغییر مسیر خود می‌کنند. در این زمان، مسافران برای جستجوی مسیر جایگزین، از اطلاعات در اختیار کمک می‌گیرند. این اطلاعات نیز که تنها بر اساس معیارهای مسافر محور طراحی شده‌اند، بهترین مسیر جایگزین را به مسافر پیشنهاد داده و مسافر را به مسیر پیشنهادی رهنمون می‌سازد. آنچه مشهود است، عدم توجه به معیارهایی نظیر ویژگی‌های مکانی، کاربری‌ها و وضعیت ساکنین است. بنابراین سناریویی

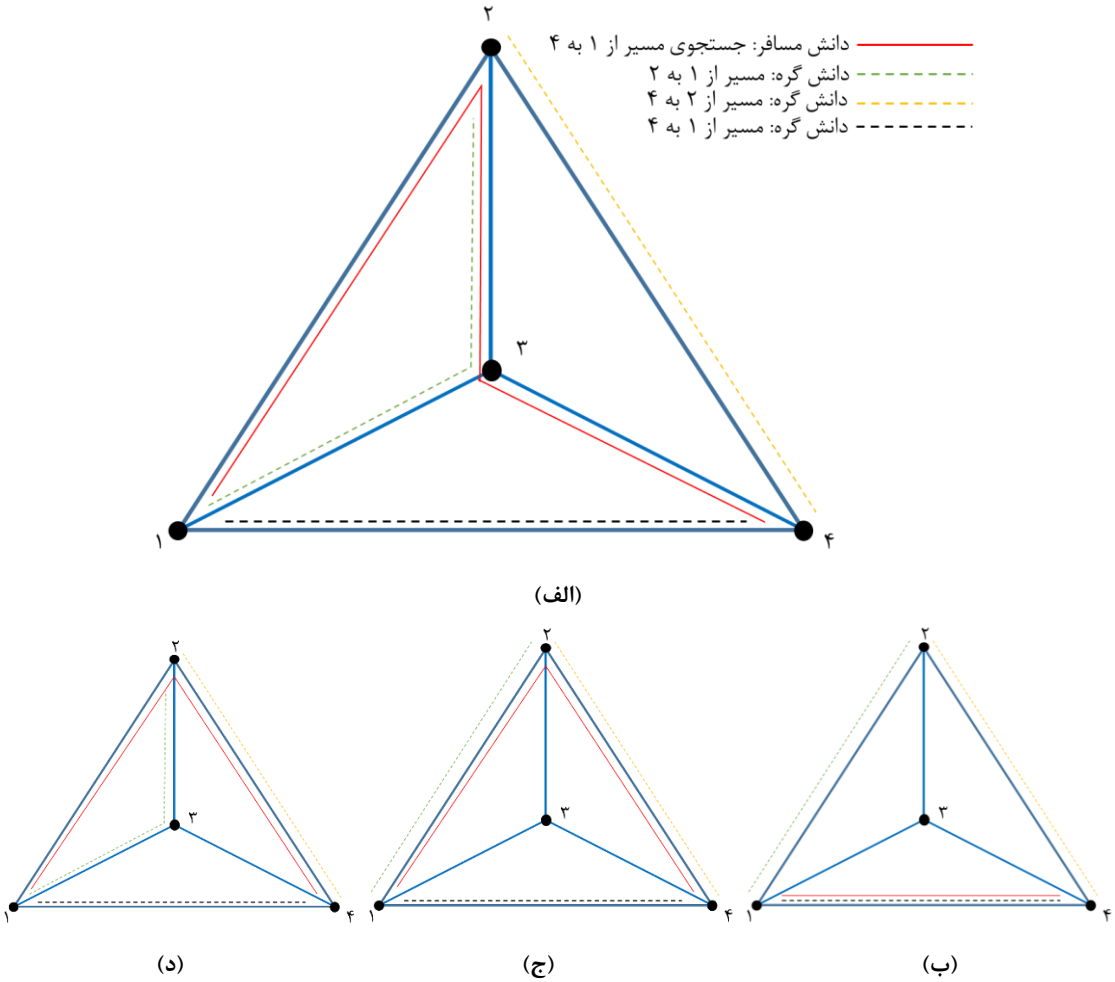
پیشنهاد شده است که همانند اطلاعات کامل، مسافران قبل از سفر به اطلاعات کامل، دسترسی دارند با این تفاوت که در این حالت، طراحی اطلاعات ارائه‌شده به مسافر، متفاوت از دو سطح بیان‌شده در بخش قبل است. اطلاعات بر مبنای معیارهای مسافر محور و با توجه ویژه به کاربری‌های حیاتی و همچنین شرایط مؤثر بر آن همچون زمان سفر (اوج و غیر اوج) به مسافران ارائه می‌گردد. بنابراین اطلاعات ارائه‌شده از یک‌سو سودمندی سفر کاربران را بیشینه خواهد کرد و از طرفی دیگر، با در نظر گرفتن نوع کاربری‌ها در مسیرهای انحرافی پیشنهادی، از بسیاری از مشکلات احتمالی ذکرشده جلوگیری خواهد نمود.

۴- روش پیشنهادی

در مقاله حاضر از یک محیط عامل مبنا برای شبیه‌سازی رفتار مسافران در سطوح مختلف دسترسی به اطلاعات استفاده شده است و از متسیم به‌عنوان ابزاری که چنین محیطی را فراهم می‌کند، استفاده شده است. متسیم این امکان را فراهم می‌کند که رفتار مسافران را در یک بازه یک‌روزه شبیه‌سازی نمود و واکنش آن‌ها را تحت شرایط مختلف شبکه با دسترسی‌های مختلف به اطلاعات، زیر نظر گرفت. در این محیط، عامل‌ها نقش مسافران را بازی می‌کنند. عامل‌ها که مسافران مصنوعی محیط شبیه‌سازی هستند با یکدیگر و محیط پیرامون خود در تعامل‌اند. عامل‌ها در حین تعاملات با یکدیگر و با محیط پیرامون، اطلاعات کسب می‌کنند و آموزش می‌بینند. در محیط عامل مبنا، برای شبیه‌سازی حمل‌ونقل، سه نوع عامل به نام مسافر، گره و لینک وجود دارد که با یکدیگر تعامل دارند و در حین تعامل با یکدیگر، آموزش می‌بینند [۳۰]. برای بیان بهتر چگونگی مدل‌سازی تعاملات عامل‌ها با یکدیگر و محیط پیرامون، از یک مثال ساده کمک می‌گیریم. فرض کنید شبکه ساده‌ای همانند شکل (۱) با ۴ گره و ۶ لینک وجود دارد. هزینه عبور از هر لینک را برای سادگی، برابر ۱ در نظر بگیرید. فرض کنید مسافری قصد سفر از گره ۱ به گره ۴ را دارد. هر مسافر در هر سفر، تجربیات خود را در حافظه خود ثبت می‌کند و سعی می‌کند که در سفر بعدی، مسیری را انتخاب کند که در طی تجربیات گذشته‌اش بیشترین سودمندی را داشته است. با عبور هر مسافر از هر گره، تبادل دانش اتفاق میافتد به این معنی که گره از مسافر و مسافر از گره آموزش می‌بینند. طبق شکل (۱-الف) بر اساس دانش قبلی مسافر، بهترین مسیر بین گره ۱ و ۴ مسیر قرمزرنگ می‌باشد که شامل گره‌های $\{1,2,3,4\}$ است؛ بنابراین فرآیند تعاملات از آخرین گره یعنی گره شماره ۴ شروع می‌شود. بین گره ۴ و ۲، بر اساس دانش مسافر بهترین مسیر $\{2,3,4\}$ است (خط قرمزرنگ) درصورتی‌که بر اساس دانش گره، بهترین مسیر $\{2,4\}$ است (خط زردرنگ). با توجه به اینکه هر لینک هزینه‌ای برابر ۱ دارد، بنابراین هزینه مسیر بر اساس دانش گره (هزینه = ۱) کمتر از هزینه مسیر بر اساس دانش مسافر (هزینه = ۲) است و در اینجا مسافر از گره «آموزش» می‌بینند و حافظه خود، در مورد بهترین مسیر را به‌روزرسانی می‌کند (شکل (۱-ب)). در مرحله بعد، مسیر بین گره ۲ و ۱ پردازش می‌شود. بر اساس دانش مسافر بهترین مسیر $\{1,2\}$ است درحالی‌که بر اساس دانش گره بهترین مسیر $\{1,3,2\}$ است. بنابراین با توجه به اینکه هزینه مسیر بر اساس دانش مسافر کمتر از هزینه مسیر بر اساس دانش گره است، گره از مسافر «آموزش» می‌بینند و روند معکوس اتفاق می‌افتد (شکل (۱-ج)). درنهایت نیز در مورد مسیر بهینه بین گره ۱ و ۴ مسافر از گره آموزش می‌بینند و حافظه خود را به‌روزرسانی می‌کند (شکل (۱-د)).

در محیط متسیم نیز زمانی که اختلالی در شبکه ایجاد شود عامل‌هایی که با این اختلال روبه‌رو شوند بر اساس قاعده تعامل با محیط پیرامون، مسیر مذکور و اختلال پیش‌آمده را در حافظه خود ثبت می‌کنند و در هنگام برنامه‌ریزی مجدد این مسیر را با رجوع به حافظه خود، انتخاب نخواهند کرد و همین‌طور با عبور از کنار دیگر عامل‌ها، این اطلاعات را در طی قواعد تعاملات

اجتماعی، به یکدیگر انتقال می‌دهند [۲۸ و ۲۹].



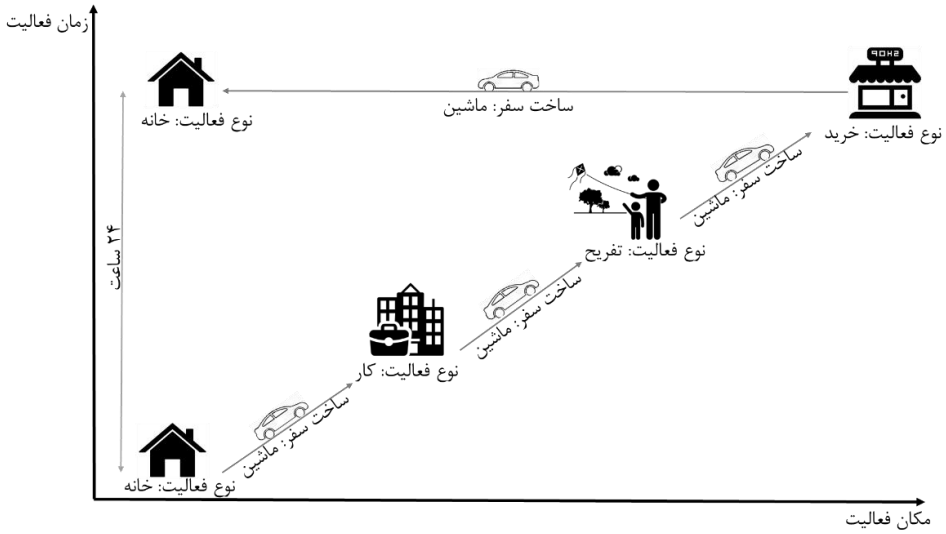
شکل ۱: قاعده تعاملات بین مسافر و گره – (الف) شبکه و دانش‌های اولیه – (ب) یادگیری مسافر از گره – (ج) یادگیری گره از مسافر – (د) یادگیری مسافر از گره

۴-۱- کلیات شبیه‌سازی در محیط عامل‌مبنا (متسیم) با رویکرد فعالیت‌مبنا

متسیم یک پلت فرم شبیه‌سازی مایکرو[1] است که به‌عنوان یک برنامه جاوا اجرا می‌شود و رویکرد مبتنی بر فعالیت را برای تولید و شبیه‌سازی فعالیت‌های افراد اتخاذ می‌کند. در مدل فعالیت مبنا (شکل (۲)) همان‌طور که از نام آن نیز مشخص است، مبنای مدل، «فعالیت» ها هستند. فعالیت‌ها شامل در خانه ماندن، سرکار رفتن، تفریح، خرید و غیره است. ازآنجاکه انجام هر فعالیت مستلزم یک جابجایی در محیط شهری و سفر است، برای پیوند بین هر فعالیت از مفهومی به نام «سفر» استفاده می‌شود. هر سفر توسط یک «ساختی» از حمل‌ونقل صورت می‌پذیرد مانند خودروی شخصی، اتوبوس، مترو و غیره. مدل فعالیت مبنا در دو بعد مکان و زمان پیوسته است و معمولاً یک تناوب یک‌روزه را به خود اختصاص می‌دهد. به‌عبارتی‌دیگر، برنامه هر مسافر از ساعت ۰۰:۰۰ بامداد شروع شده و تا ساعت ۲۴:۰۰ ادامه خواهد داشت و بدون هیچ وقفه‌ای برنامه روز بعد

[1] *Micro simulation*

شروع خواهد شد، از طرفی دیگر نیز، مکان فعالیت مسافر از «خانه» شروع شده و در پایان روز نیز به همان «خانه» بازخواهد گشت. سازگاری و اثرپذیری مسافران از اطلاعات ارائه‌شده بر اساس مدل فعالیت مبنا قابل توضیح است.



شکل ۲: ویژگی‌های مکانی و زمانی فعالیت‌ها و سفرها و پوستگی مکانی-زمانی در رویکرد فعالیت مبنا

در محیط عامل مبنا عامل نمایانگر مسافران است و رفتار عامل به برنامه سفر روزانه (زنجیره‌ای از فعالیت-ها) و انتخاب مسیر مسافر اطلاق می‌شود. متسیم دارای دولایه است؛ لایه فیزیکی و لایه ذهنی. لایه فیزیکی، دنیای فیزیکی را که عامل (مسافر) در آن حرکت می-کند نشان می‌دهد و در لایه ذهنی، قواعد، استراتژی-هایی ازجمله انتخاب مسیر، انتخاب ساخت و برنامه‌های فعالیت روزانه وجود دارد [۲۶]. واضح است که لایه ذهنی به منطق مدل اشاره دارد و تصمیمات فعالیت-های روزانه یک عامل را ایجاد می‌کند. نتایج دولایه با روشی تکرارشونده به یکدیگر بازخورد داده می‌شوند و ترافیک شبیه‌سازی‌شده در شبکه راه را در سطح میکروسکوپی تولید می‌کند. لایه ذهنی الگوهای فعالیت-سفر عامل‌ها را ایجاد می‌کند و از دو مؤلفه تشکیل شده است: برنامه فعالیت و انتخاب ساخت یا مسیر. ماژول تولید فعالیت برای هر عامل یک برنامه فعالیت بیست‌وچهارساعته ایجاد می‌کند. کیفیت یک برنامه فعالیت (به‌عنوان‌مثال ازنظر کوتاه‌تر بودن مسیر و یا کمترین زمان) با امتیازدهی اندازه‌گیری می‌شود [۲۷]. این پلت فرم، برنامه‌ریزی فعالیت و شبیه‌سازی مایکرو را به‌صورت تکراری اجرا می‌کند. هدف از حلقه تکراری، یافتن حالت پایدار[1] سیستم است، جایی که یک عامل نمی‌تواند با تجدیدنظر در برنامه خود، امتیاز خود را بهبود بخشد. سیستم شبیه‌سازی کلی شامل مراحل زیر است که به‌صورت تکراری اجرا می‌شود:

۱- مجموعه‌ای از برنامه‌های روزانه اولیه تولید می‌شود.
۲- برای هر عامل یک برنامه روزانه انتخاب می‌شود.
۳- شبیه‌سازی برای تولید زمان سفر جدید برای هر سفر و امتیازدهی مجدد برنامه‌ها اجرا می‌شود.
۴- زیرمجموعه‌ای از عوامل برای تنظیم/تولید برنامه جدید توسط ماژول‌های استراتژی خارجی انتخاب می-شود.
۵- ماژول‌های استراتژی خارجی اجرا و هر عامل با یک برنامه جدید یا اصلاح‌شده به‌روز می‌شود.
۶- ماژول انتخاب مسیر برای تولید یک مسیر برای هر

[1] *stable*

عامل اجرا می‌شود.

۷- اگر معیار توقف برآورده شود، متوقف می‌گردد. در غیر این صورت، به شبیه‌سازی ادامه می‌دهد [۲۸].

ماژول‌های مذکور (مراحل ۵ و ۶) با توجه به قواعد موجود در رابطه با تعاملات عامل‌ها با یکدیگر و با محیط پیرامون و همچنین ثبت آن در حافظه عامل، اجرا می‌شوند. استراتژی عامل‌ها در مواجهه با اختلال پیش‌آمده نیز توسط این ماژول‌ها تعیین می‌شود [۲۹].

برای محاسبه امتیاز هر برنامه در مرحله ۳ از تئوری مطلوبیت انتظاری[۱] استفاده شده است. امتیاز هر برنامه بر اساس رابطه (۱) محاسبه می‌گردد [۲۹].

$$S_{plan} = \sum_{q=0}^{N-1} S_{act(q)} + \sum_{q=0}^{N-1} S_{trav(car)} \qquad \text{رابطه(۱)}$$

در رابطه (۱) S_{plan} امتیاز محاسبه‌شده برای هر برنامه است که برابر مجموع کل سودمندی فعالیت ($S_{act(q)}$) به‌علاوه مجموع کل سودمندی سفر ($S_{trav(car)}$) است. N تعداد فعالیت‌های موجود در برنامه و q یک فعالیت از N فعالیت موجود است. برای محاسبه $S_{act(q)}$ از رابطه(۲) و برای محاسبه $S_{trav(car)}$ از رابطه(۳) استفاده می‌شود [۲۹]. در رابطه (۲) مقدار سودمندی فعالیت q یا به عبارتی $S_{act(q)}$ محاسبه می‌شود. در این رابطه $S_{dur(q)}$ سودمندی انجام فعالیت q بر اساس زمان باز شدن فعالیت مذکور است. $S_{wait(q)}$ سودمندی انتظار برای باز شدن یک فعالیت است (به‌عنوان مثال انتظار برای باز شدن فروشگاه برای انجام فعالیت خرید). $S_{late(q)}$ بیانگر تأخیر در شروع فعالیت است که مقدار آن منفی و یا صفر است. $S_{early(q)}$ بیانگر ترک زودهنگام یک فعالیت q و شروع فعالیت $q+1$ است که این ترم نیز مقدار منفی و یا صفر دارد. $S_{short(q)}$ نیز تنها مقدار منفی و یا صفر را خواهد داشت که همواره مقدار آن صفر خواهد بود مگر آنکه مدت‌زمان فعالیت q از کوتاه‌ترین مقدار ممکن کمتر باشد.

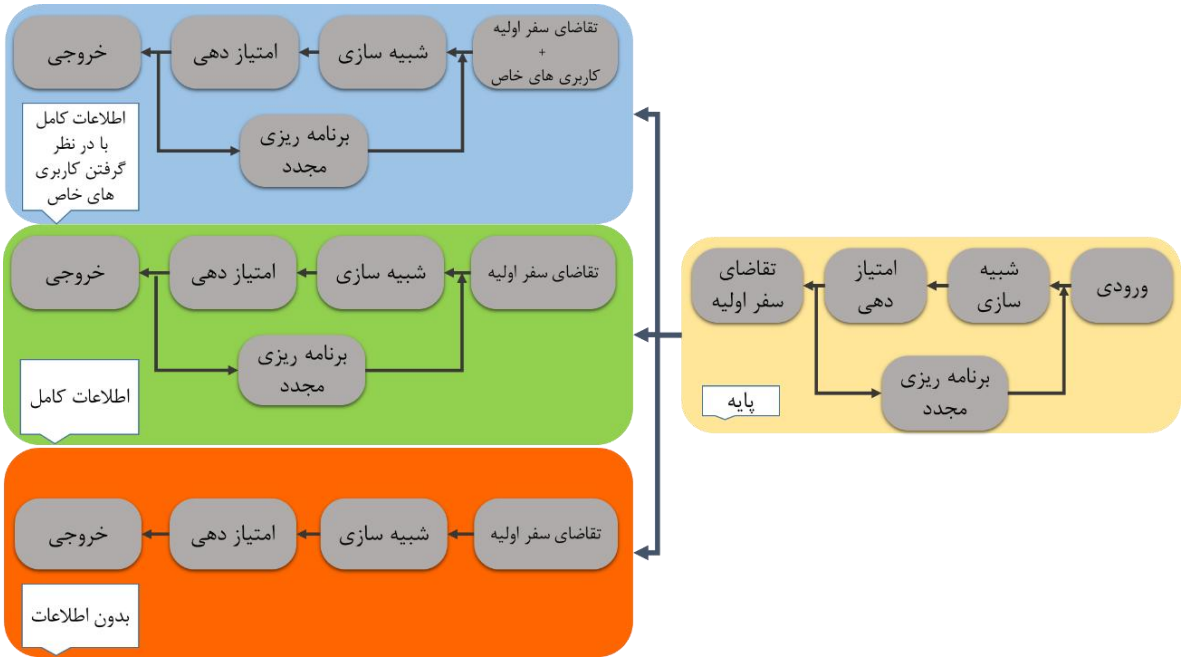
در رابطه (۳) مقدار سودمندی سفر برای فعالیت q محاسبه می‌شود. در این رابطه C_{car} یک مقدار ثابت است. $\beta_{trav(car)}$ سودمندی مرزی برای زمان صرف‌شده در سفر است. $t_{trav(car),act(q,q+1)}$ زمان سفر بین دو فعالیت q و $q+1$ است. β_m بیانگر سودمندی ازنظر هزینه‌های مالی سفر است که معمولاً مقداری مثبت دارد. $\Delta m_{act(q)}$ بیانگر تغییر در بودجه پولی ناشی از کرایه‌ها یا عوارض است که معمولاً مقدار منفی و یا صفر دارد. β_d سودمندی مرزی مسافت طی شده است که مقدار آن منفی و یا صفر است. γ_d نرخ هزینه مسافت طی شده بر اساس ساخت سفر است. $d_{trav(car),act(q,q+1)}$ نیز بیانگر مسافت طی شده بین دو فعالیت q و $q+1$ است.

متسیم این امکان را فراهم می‌کند که برای هر یک از لینک‌های شبکه تغییراتی را همراه با زمان شروع و پایان تعریف کرد؛ بنابراین می‌توان هرگونه اختلال در شبکه را در متسیم مدل‌سازی کرد. بر اساس این قابلیت فاکتورهای جانبی همچون سرعت جریان و ظرفیت راه، هم‌زمان با تعیین اختلال، قابل‌تعریف است. شکل(۳) چگونگی مدل‌سازی دسترسی به اطلاعات را نشان می‌دهد. برای مدل‌سازی دسترسی به اطلاعات ابتدا لازم است که بدون در نظر گرفتن هیچ‌گونه اختلالی، مدل‌سازی را طبق مراحل بیان‌شده انجام داد، بنابراین شبیه‌سازی به‌صورت یک حلقه تکرار می‌شود و در هر تکرار هر عامل به نمایندگی از یک مسافر یک برنامه روزانه را انتخاب کرده و در پایان روزبه خود امتیاز می‌دهند تا زمانی که سیستم به تعادل برسد و هیچ‌یک از عامل‌ها با برنامه‌ریزی مجدد خود، بهبودی در امتیاز خود نداشته باشند. نتیجه این سناریو که بدون در نظر گرفتن هیچ‌گونه اختلالی در شبکه است، به‌عنوان وضعیت پایه (*Benchmark*) یا ایده‌آل برای دو سناریوی بعدی در نظر گرفته می‌شود.

[۱] *Expected Utility Theory*

$$S_{act(q)} = S_{dur(q)} + S_{wait(q)} + S_{late(q)} + S_{early(q)} + S_{short(q)}$$ رابطه(۲)

$$S_{trav(car)} = C_{car} + \beta_{trav(car)} \cdot t_{trav(car),act(q,q+1)} + \beta_m \cdot \Delta m_{act(q)} + (\beta_d + \beta_m \cdot \gamma_d) \cdot d_{trav(car),act(q,q+1)}$$ رابطه(۳)



شکل ۳: شبیه‌سازی دو سطح مختلف دسترسی به اطلاعات در متسیم

برای شبیه‌سازی رفتار مسافران در هنگام اختلال در شبکه و بدون دسترسی به هیچ‌گونه اطلاعاتی، لازم است که ابتدا اختلال مذکور در شبکه تعریف شود. پس از تعریف تغییرات شبکه به‌عنوان اختلال پیش‌آمده، خروجی سناریو پایه به‌عنوان ورودی این سناریو در نظر گرفته می‌شود. مدل را تنها در یک تکرار اجرا کرده تا عامل‌ها فرصت سازگاری با شرایط پیش‌آمده را نداشته باشند. در چنین شرایطی عامل تنها در یک تکرار برنامه خود را انتخاب کرده است و فرصت مطلع شدن از لینک‌های مختل‌شده برای تجربه کردن افت سودمندی و عدم انتخاب آن لینک در تکرارهای بعدی را نداشته است.

برای شبیه‌سازی رفتار مسافران در هنگام اختلال در شبکه با دسترسی کامل به اطلاعات، نیز لازم است که ابتدا اختلال ایجادشده در شبکه تعریف و پس‌ازآن، خروجی سناریو پایه همچنان به‌عنوان ورودی این سناریو در نظر گرفته شود و مدل را دوباره اجرا کرده و تکرار آن‌قدر ادامه پیدا کند تا عامل‌ها به حالت پایداری خود برسند. در این حالت تکرارهای متوالی و عبور عامل‌ها از مسیرهایی که دچار اختلال شده است، باعث می‌شود که عامل طی انتخاب این مسیر امتیاز کمتری بگیرد و همین امر منتج به مطلع شدن عامل از این مشکل شده و در حالت پایدار خود مسیری غیر از مسیر مختل‌شده را که در تکرارهای قبلی تجربه کرده است،

انتخاب نماید تا حداکثر سودمندی را برای او داشته باشد.

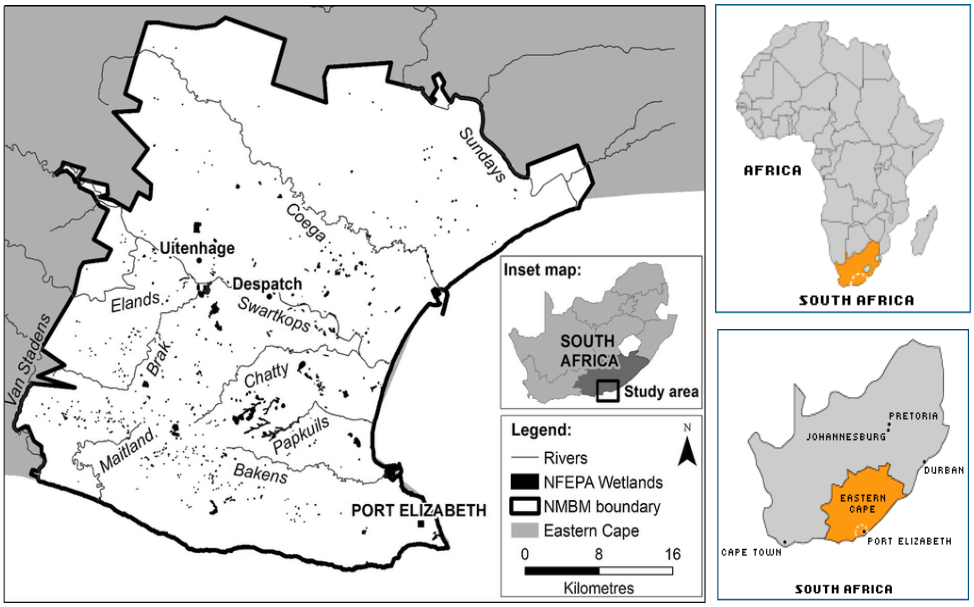
برای شبیه‌سازی سناریو پیشنهادی خود در مقایسه با مطالعه لنگ کورمن (۲۰۲۰)، حالتی در نظر گرفته شده است که اطلاعات کامل وجود دارد و این اطلاعات با توجه به معیارهایی همچون «کاربری‌ها» به مسافران ارائه می‌شود. تمامی مراحل همانند حالت اطلاعات کامل است با این تفاوت که لینک دارای کاربری مدرسه به شبکه معرفی شده است، به‌طوری‌که عامل‌ها با گذر از لینک مذکور و با توجه به فاکتورهایی همچون زمان سفر (اوج و غیر اوج) دچار افت سودمندی سفر شوند و در تکرارهای بعدی، احتمال انتخاب لینک مذکور کاهش یابد. در این سناریو، یکی از لینک‌های شبکه که پس از ایجاد اختلال ذکرشده در دو سناریو قبلی، بیشترین تردد را به خود اختصاص داده است و همچنین یکی از لینک‌های محلی محسوب می‌شود را به‌عنوان لینک شامل کاربری مدرسه در نظر گرفته‌ایم.

۴-۲- محدوده تحقیق

خلیج نلسون ماندلا یکی از هشت کلان‌شهر آفریقای جنوبی است. این مکان در ساحل خلیج آلگوآ در شرق استان کیپ واقع شده است و شامل شهر بندر الیزابت و مناطق روستایی اطراف آن است. در مقاله حاضر از داده‌های جمعیتی و شبکه راه داده خلیج نلسون ماندلا[1] استفاده شده که بخش بندر الیزابت به‌عنوان داده ورودی سناریوهای موردنظر در متسیم استفاده شده است. شبکه مذکور دارای ۱۷۳۵۶ گره و ۴۷۵۷۵ لینک است (شکل (۴)).

داده جمعیتی شامل ۱۱۰ عامل است. از این ۱۱۰ عامل، ۵۳ عامل زن و ۵۷ عامل مرد هستند. ازنظر سنی، قسمت اعظمی از جمعیت نمونه (۳۲ عامل) در سن ۱۷ تا ۳۰ سال هستند. همان‌طور که در شکل (۵-الف) دیده می‌شود به ترتیب فراوانی، ۲۷ عامل در سن ۴ تا ۱۷ سال، ۲۱ عامل در سن ۴۳ تا ۵۶، ۱۸ عامل در سن ۳۰ تا ۴۳ سالگی، ۱۲ عامل در سن ۴۶ تا ۵۹ و درنهایت ۱ عامل در سن ۶۹ تا ۸۲ سالگی در این جمعیت نمونه حضور دارند. شکل (۵-ب) نوع فعالیت‌هایی که در جمعیت نمونه وجود دارد را نیز نشان می‌دهد. در این میان قسمت اعظمی از فعالیت‌ها مربوط به فعالیت «خانه» یا همان در خانه ماندن است که ۲۳۰ فعالیت را به خود اختصاص داده است. دیگر فعالیت‌ها به ترتیب فراوانی آن‌ها عبارت‌اند از تفریح و اوقات فراقت با فراوانی ۱۷۹، تحصیل با فراوانی ۵۳، خرید با فراوانی ۱۷ و درنهایت سرکار رفتن که با فراوانی ۶ است. در این جمعیت نمونه تنها ساخت حمل‌ونقل «ماشین» در نظر گرفته شده و روزانه ۳۷۵ سفر صورت گرفته است.

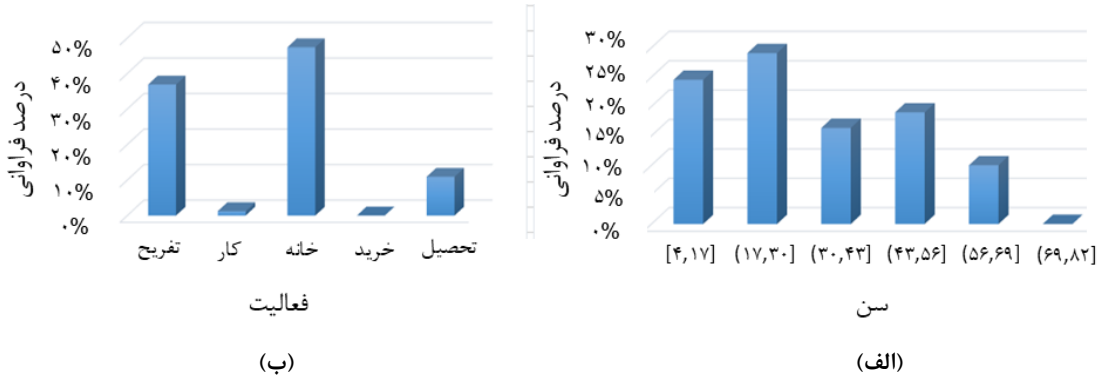
[1] *https://matsim.atlassian.net/wiki/label/MATPUB/file-list*



(الف)

(ب)

شکل ۴: (الف) موقعیت منطقه موردمطالعه نسبت به خلیج نلسون ماندلا و قاره آفریقا - (ب) شبکه راه بندر الیزابت



شکل ۵: (الف) توزیع جمعیت نمونه در رده‌های سنی مختلف - (ب) فراوانی فعالیت‌های مختلف در جمعیت نمونه

۵- نتایج

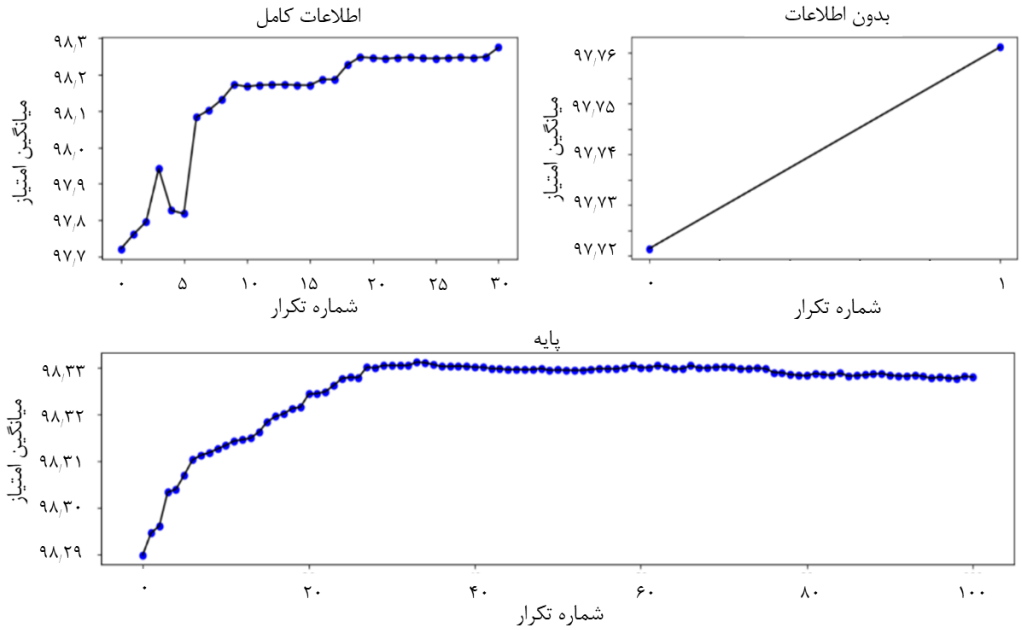
پس از تعریف کلیات سناریوهای موردنظر در این تحقیق در بخش ۴-۱، از داده‌های معرفی‌شده در بخش ۴-۲ استفاده کرده و سناریوهای مذکور در متسیم اجرا شده است. بدین منظور ابتدا دو مورد از اصلی‌ترین لینک‌های شبکه را که بیشترین تعداد عبور روزانه عامل‌ها را دارا است، تغییر داده و دچار اختلال کرده‌ایم (شکل (۶)). فرض بر آن است که در این لینک‌ها عملیات تعمیر مسیر صورت گرفته است و زمان شروع از ساعت ۰۶:۰۶ صبح و پایان آن ۱۷:۰۶ بعدازظهر است و به علت حضور کارگران و عملیات تعمیر، سرعت جریان و ظرفیت این مسیر کاهش‌یافته است. نتایج حاصل از شبیه‌سازی در دو بخش بعدی شرح داده شده است.

شکل ۶: مسیر اصلی شبکه که دچار اختلال شده است (با رنگ قرمز)

۵-۱- تأثیر دسترسی به اطلاعات مکانی بر رفتار سفر

در این بخش سه سناریوی «پایه»، «اطلاعات کامل» و «بدون اطلاعات» پیاده‌سازی و اجرا شده و نتایج حاصل تحلیل گردیده‌اند. شکل (۷) نمودار مربوط به روند افزایشی میانگین امتیاز عامل‌ها در هر تکرار از شبیه-سازی برای سه سناریو نامبرده را نشان می‌دهد. در این نمودار، محور افقی شماره تکرار و محور قائم میانگین امتیاز کسب‌شده توسط عامل‌ها را بیان می‌دارد. همان‌طور که در این نمودار دیده می‌شود، در دو سناریو «پایه» و «اطلاعات کامل»، عامل‌ها در هر تکرار سعی بر افزایش امتیاز خود داشته‌اند تا جایی که به حالت پایدار رسیده و هیچ عاملی با تغییر برنامه خود نتواند امتیاز خود را افزایش دهد؛ اما در سناریو بدون اطلاعات، عامل‌ها فرصت دستیابی به اطلاعات را پیدا نکرده و امتیاز آن‌ها تنها برگرفته از یک‌بار تکرار مدل است. آخرین تکرار هر سناریو به‌عنوان خروجی مدل

خواهد بود (تعداد تکرار بهینه بر اساس تکرار مدل-سازی، ارزیابی خروجی و یافتن حالت پایدار مدل به دست آمده است).



شکل ۷: امتیاز عامل‌ها در تکرارهای مختلف از شبیه‌سازی

جدول (۱) میزان شاخص میانگین رضایت عامل‌ها را نسبت به سفر خود در سه سناریوی مذکور نشان می-دهد. این رضایت برگرفته از امتیازی است که عامل‌ها در آخرین تکرار (پایدارترین حالت) به خود داده‌اند. در حالت دسترسی به اطلاعات کامل، عامل‌ها مطلوبیت بالاتری برای سفر خود ثبت کرده‌اند و امتیاز بالاتری به خود داده‌اند درحالی‌که در حالت بدون دسترسی به اطلاعات، عامل‌ها امتیاز کمتری را ثبت کرده‌اند و مطلوبیت سفر کمتری را تجربه کرده‌اند. از طرفی دیگر، تأثیر دسترسی به اطلاعات بر روی عامل‌های درگیر شده با اختلال (عامل‌هایی که مسیر مختل شده بخشی از مسیر سفر آن‌ها بوده) بیشتر بوده است؛ بنابراین قابل‌اثبات است که دسترسی به اطلاعات مکانی، مخصوصاً در شرایط بحرانی شبکه، می‌تواند بسیار سودمند باشد و رضایت مسافران را به همراه داشته باشد. از طرفی دیگر، با توجه به این موضوع که امتیاز عامل‌ها بر اساس مواردی همچون کوتاه‌تر بودن مسیر و یا کم‌تر بودن زمان سفر، افزایش میابد، بنابراین با توجه به نتایج حاصله در شکل (۷) و جدول (۱) قابل استنباط است که دسترسی به اطلاعات مکانی می‌تواند به‌طور قابل‌توجهی بر انتخاب مسیر بهینه به مسافران کمک کند و رضایت سفر بیشتری را به دنبال داشته باشد. این موضوع بسیار حائز اهمیت است، چراکه در هنگام اختلال در شبکه، اگر مسافران اطلاعات مکانی و زمانی کامل و لحظه‌ای از رخداد پیش‌آمده داشته باشند و همین‌طور به‌وسیله همین اطلاعات بهترین مسیر جایگزین را انتخاب نمایند، از چندین جهت می‌تواند کمک‌کننده باشد؛ یک اینکه، با یافتن بهترین مسیر جایگزین، مسافران بدون کاهش چشم‌گیر در مطلوبیت سفر خود می‌توانند به فعالیت‌های روزانه خود ادامه دهند. دوم اینکه، با کاهش ازدحام ترافیکی در مسیر مختل شده و راهنمایی مسافران به مسیرهای جایگزین،

فرآیند رفع اختلال برای نیروهای خدماتی و امدادی می‌تواند سریع‌تر انجام شود، خصوصاً اگر اختلال پیش‌آمده به علت تصادفات باشد که در این مورد ازدحام ترافیکی در مسیر مختل شده می‌تواند مانع از امدادرسانی به‌موقع شود و جان مصدومان احتمالی در حادثه به خطر افتد.

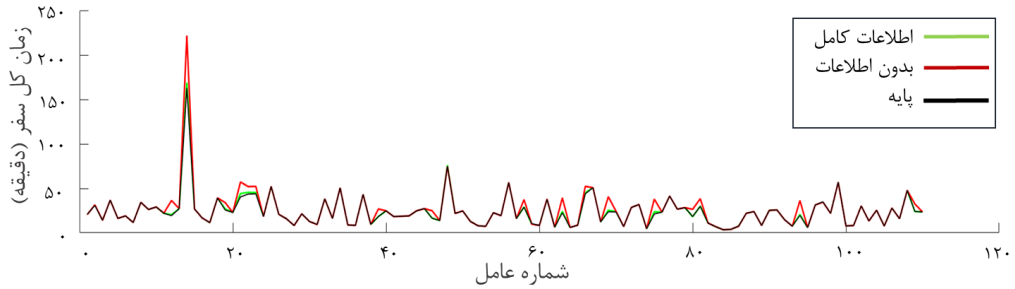
جدول ۱: مقایسه شاخص میانگین حسابی میزان رضایت عامل‌ها در سه سناریو پایه، بدون اطلاعات و اطلاعات کامل

عامل / سناریو	پایه *A*	بدون اطلاعات *B*	اطلاعات کامل *C*	اختلاف دو حالت *C-B*
کل عامل‌ها	۹۸٫۳۳۰۲	۹۷٫۷۶۱۱	۹۸٫۲۷۴۴	۰٫۵۱۳۳
عامل‌های درگیرشده با اختلال شبکه	۸۹٫۴۲۵۷	۸۵٫۷۴۴۸	۸۹٫۰۶۷۳	۳٫۳۲۲۵

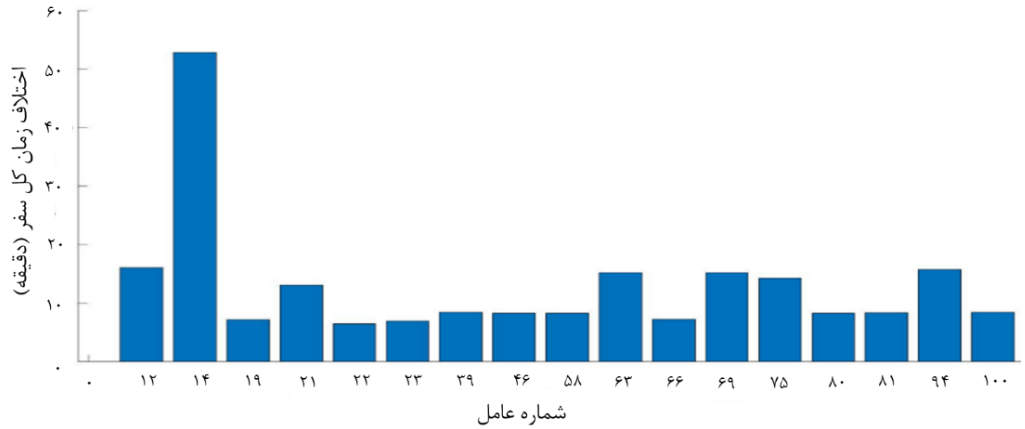
شکل (۸-الف) زمان کل سفر عامل‌ها در سه حالت پایه، دسترسی به اطلاعات کامل و بدون اطلاعات را نشان می‌دهد و شکل (۸-ب) اختلاف‌زمان کل سفر در دو حالت دسترسی به اطلاعات کامل و بدون اطلاعات برای عامل‌های درگیر با اختلال (لینک دچار اختلال شده بخشی از مسیر آن‌ها بوده است) را نشان می‌دهد. در این نمودارها محور افقی شماره عامل و محور عمودی زمان کل سفر را به دقیقه نشان می‌دهد. مطابق شکل، در حالتی که عامل‌ها به اطلاعات کامل دسترسی داشته باشند، زمان سفر کمتری نسبت به حالتی که به هیچ اطلاعاتی دسترسی ندارند، داشته و این بیانگر آن است که در حالتی که اختلالی در شبکه ایجاد شود با دسترسی به اطلاعات می‌توان به میزان قابل‌توجهی از تأخیرهای احتمالی مسافران کاهید درصورتی‌که در حالتی که مسافران به اطلاعات دسترسی ندارند ممکن است تأخیر جدی در رسیدن به فعالیت بعدی خود تجربه کنند.

شکل (۹-الف) مسافت کل سفرهای عامل‌ها در بازه یک‌روزه در سه حالت پایه، دسترسی به اطلاعات کامل و بدون اطلاعات را نشان می‌دهد و شکل (۹-ب) اختلاف مسافت کل سفر در دو حالت دسترسی به اطلاعات کامل و بدون اطلاعات برای عامل‌های درگیر با اختلال را نشان می‌دهد. همان‌طور که دیده می‌شود در بیشتر عامل‌ها این اختلاف برابر صفر است و تنها برای سه عامل این اختلاف بزرگ‌تر از صفر است که این اختلاف نیز در مقایسه با مسافت کل سفر بسیار ناچیز است.

شکل (۱۰-الف) تعداد کل لینک‌های مسیر سفر عامل‌ها در بازه یک‌روزه در سه حالت پایه، دسترسی به اطلاعات کامل و بدون اطلاعات را نشان می‌دهد و شکل (۱۰-ب) اختلاف کل لینک‌های مسیر سفر عامل‌های درگیر با اختلال در دو سناریو اطلاعات کامل و بدون اطلاعات برای عامل‌های درگیر با اختلال را نشان می‌دهد. همان‌طور که دیده می‌شود در اکثر عامل‌ها (به‌جز دو عامل) در حالتی که به اطلاعات کامل دسترسی داشته‌اند، تعداد لینک کمتر و یا برابری را نسبت به حالتی که به هیچ اطلاعاتی دسترسی ندارند، ثبت کرده‌اند.

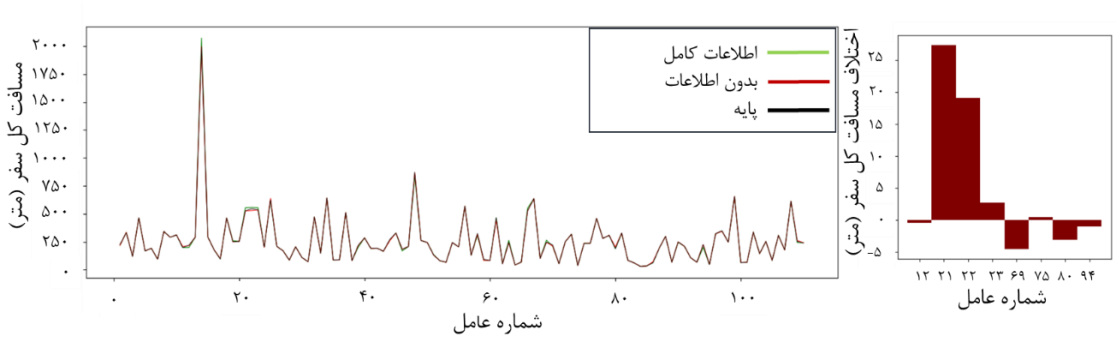


(الف)



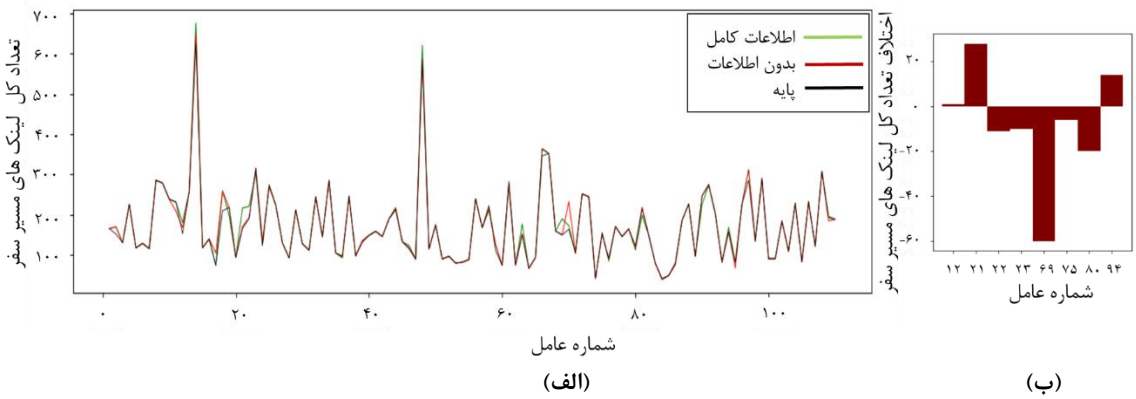
(ب)

شکل ۸: (الف) زمان کل سفر عامل‌ها در سه سناریوی پایه، بدون اطلاعات و اطلاعات کامل - (ب) اختلاف‌زمان کل سفر عامل-های درگیرشده با اختلال در دو سناریو بدون اطلاعات و اطلاعات کامل برحسب دقیقه



(الف) (ب)

شکل ۹: (الف) مسافت کل سفرهای عامل‌ها در بازه یک‌روزه در سه سناریو- (ب) اختلاف مسافت کل سفرهای عامل‌های درگیر با اختلال در دو سناریو اطلاعات کامل و بدون اطلاعات (اختلاف‌های مخالف صفر)



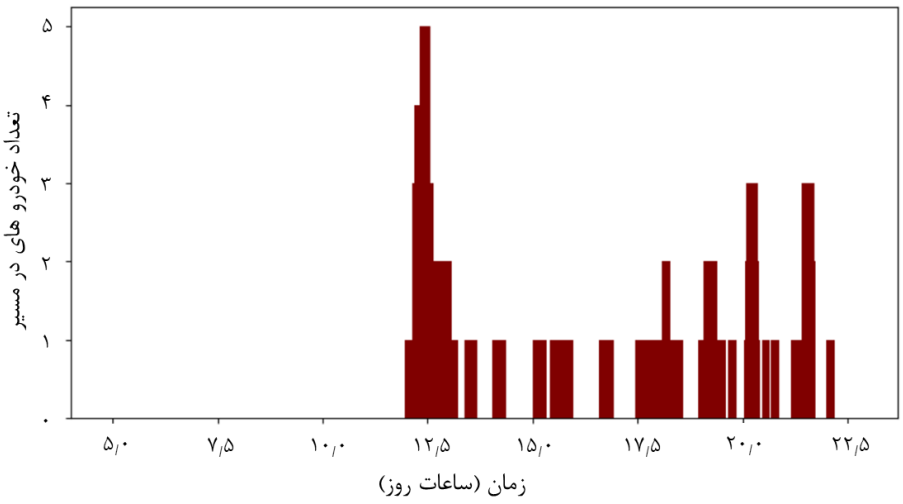
(الف) (ب)

شکل ۱۰: (الف) تعداد کل لینک‌های مسیر سفر عامل‌ها در بازه یک‌روزه در سه سناریو- (ب) اختلاف کل لینک‌های مسیر سفر عامل‌های درگیر با اختلال در دو سناریو اطلاعات کامل و بدون اطلاعات (اختلاف‌های مخالف صفر)

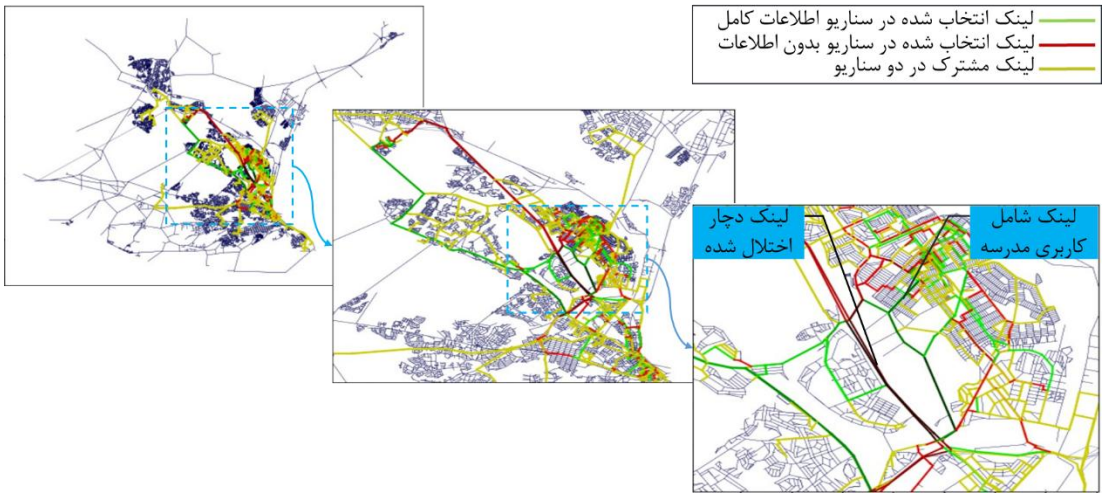
شکل (۱۱) توزیع زمانی سفرها در دو سناریو بدون اطلاعات و اطلاعات کامل را نشان می‌دهد. همان‌طور که دیده می‌شود، تعداد خودروهای در مسیر در حالت بدون اطلاعات همواره بیشتر از حالت اطلاعات کامل بوده و اختلاف آن‌ها مثبت و بزرگ‌تر از صفر است. این بدان معنی است که در حالت بدون اطلاعات، مسافران زمان بیشتری را برای یافتن مسیر بهینه جایگزین صرف می‌کنند و یا اینکه مسیری را انتخاب می‌نمایند که بهینه نیست و یا حتی تغییری در مسیر خود نداده و همان مسیر مختل شده را ادامه می‌دهند که هر سه مورد باعث می‌شود که زمان بیشتری را در مسیر صرف نمایند. نکته قابل‌توجه دیگر این است که با توجه به شکل مذکور، در ساعات اوج این موضوع اهمیت بیشتری میابد و تعداد خودروهای در مسیر به بیشترین مقدار ممکن در طول روز می‌رسد؛ بنابراین دسترسی به اطلاعات مکانی، با کاهش تعداد خودروهای در مسیر، راه‌حلی مناسب برای کمک به رفع و یا کاهش بسیاری از معضلات ترافیکی دنیای امروز، همچون افزایش مصرف سوخت و آلودگی هوا، است و از همه مهم‌تر، باعث می‌شود که در زمان که بزرگ‌ترین ثروت انسان‌ها است، صرفه‌جویی شود.

بر اساس توضیحاتی که در این بخش ارائه شد، قابل استنباط است که دسترسی به اطلاعات می‌تواند منتج به افزایش رضایت مسافران از سفر خود شود. علاوه بر آن، دسترسی به اطلاعات مکانی باعث می‌شود مسافران زمان کمتری را در مسیر سفر صرف نمایند و این موضوع در شرایط اختلال در شبکه می‌تواند به میزان قابل‌توجهی از تأخیرهای احتمالی مسافران بکاهد؛ بنابراین سودمندی اطلاعات برای مسافران غیرقابل‌انکار و قابل‌اثبات است؛ اما همان‌طور که پیش‌تر نیز مطرح شد، این اطلاعات مسافر محور هستند و تنها به افزایش مطلوبیت سفر مسافران توجه دارند و به معیارهایی همچون ویژگی‌های مکانی، کاربری‌ها و وضعیت ساکنین توجهی ندارد. شکل (۱۲) گویای این مسئله است. این شکل توزیع مکانی سفر عامل‌ها در دو سناریو «بدون اطلاعات» و «بدون اطلاعات» را نشان می‌دهد. در این شکل لینک‌هایی که به رنگ قرمز هستند، مسیرهایی‌اند که عامل‌ها در سناریوهای «پایه» و «بدون اطلاعات» از آن‌ها گذر کرده‌اند، ولی در سناریوی «اطلاعات کامل» دیگر استفاده نکرده‌اند. همچنین تیره‌تر بودن رنگ بیانگر تعداد دفعات استفاده از آن لینک است. به‌عبارتی‌دیگر هر چه رنگ لینک تیره‌تر باشد به معنی آن است که لینک مذکور در دفعات بیشتری توسط عامل‌ها استفاده‌شده. از طرف دیگر، لینک‌های به رنگ سبز، بیانگر مسیرهایی هستند که عامل‌ها در سناریو «اطلاعات کامل» استفاده کرده-

اند ولی در سناریوهای «پایه» و «بدون اطلاعات» استفاده‌نشده بوده است. تیره‌تر بودن رنگ در این مورد هم بیانگر تعداد دفعات است. لینک‌های زردرنگ نیز لینک‌های مشترک بین دو سناریو را نشان می‌دهد. ۴۴۴۰ لینک در سناریو «اطلاعات کامل» و ۴۳۹۴ لینک در سناریو «بدون اطلاعات» استفاده شده است که دراین‌بین ۳۰۵۴ لینک بین آن‌ها مشترک بوده است که نشان می‌دهد اختلاف زیادی در تعداد لینک انتخابی بین دو سناریو مذکور وجود ندارد. همان‌طور که در شکل دیده می‌شود، لینک دچار اختلال شده در سناریو «اطلاعات کامل» نسبت به سناریو «بدون اطلاعات» در دفعات کمتری استفاده شده است (رنگ قرمز تیره). این در حالی است که همزمان با تغییر مسیر عامل ها از لینک دچار اختلال شده به دیگر لینک های مجاور، بسیاری از عامل ها به لینک شامل کاربری مدرسه تغییر مسیر داده‌اند (رنگ سبز تیره). این موضوع گویای آن است که در حالتی که عامل‌ها اطلاعات کاملی از اختلال پیش‌آمده دارند، برای عبور از شرایط پیش‌آمده و حفظ میزان مطلوبیت سفر خود اقدام به تغییر مسیر نسبت به حالت بدون اطلاعات کرده‌اند که این تغییرِ مسیر بر اساس معیارهای مسافر محور بوده و آن‌ها را به لینک‌های محلی و دیگر لینک‌هایی که ممکن است شامل کاربری‌های خدماتی همچون بیمارستان‌ها و آتش‌نشانی‌ها و یا کاربری‌هایی که عبور کودکان در آن مکان‌ها محتمل است (مانند مدارس)، راهنمایی می‌کند؛ بنابراین توسط این نتایج می‌توان به فقدان معیارهای مذکور در طراحی اطلاعات پی برد. در بخش بعد راه‌حل پیشنهادی برای رفع این مشکل و حفظ مطلوبیت همه‌جانبه ارائه‌شده است.



شکل ۱۱: اختلاف تعداد خودروهای در مسیر در دو سناریو بدون اطلاعات و اطلاعات کامل

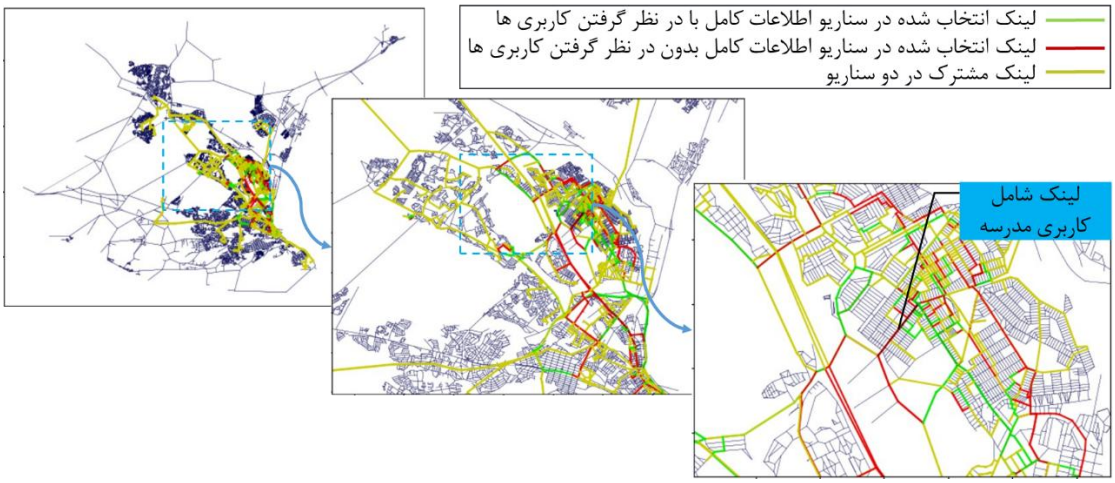


شکل ۱۲: تغییر مسیر عامل‌ها در حالت اطلاعات کامل نسبت به زمانی که به هیچ‌گونه اطلاعاتی دسترسی ندارند

۵-۲- استفاده از کاربری‌های خاص در طراحی اطلاعات مکانی

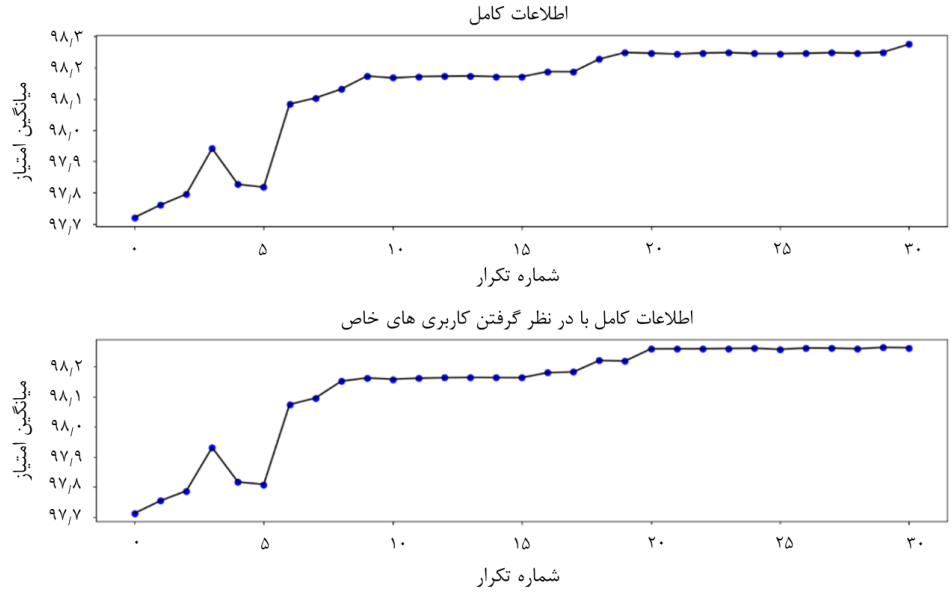
برای اجرای سناریوی پیشنهادی خود، در طراحی اطلاعات ارائه‌شده به عامل‌ها، نوع کاربری‌ها موردتوجه قرارگرفته است و یکی از لینک‌های شبکه به‌عنوان لینکی که شامل کاربری مدرسه است، معرفی شده است. لازم به ذکر است که برای پیاده‌سازی این سناریو شرایطی در نظر گرفته شده است که نتایج را هرچه بیشتر به واقعیت نزدیک نماید. بدین منظور تغییرات شبکه بر اساس معیار کاربری و متناسب با نوع کاربری و همین‌طور زمان سفر، در نظر گرفته شده است. در این سناریو، نوع کاربری مدرسه است و تغییر در شبکه تنها از ساعت ۰۷:۰۰ صبح تا ۱۲:۰۰ ظهر که احتمال عبور کودکان در مسیرِ مذکور زیاد است، اعمال شده است. سناریو را در محیط متسیم اجرا کرده و رفتار عامل‌ها و توزیع مکانی و زمانی سفرها در هنگام استفاده از این اطلاعات در مقایسه با حالتی که معیار کاربری‌ها در طراحی اطلاعات وجود نداشته است، مقایسه شده است. شکل (۱۳) تفاوت رفتاری عامل‌ها در انتخاب مسیر و توزیع مکانی سفرها در دو سناریو «اطلاعات کامل» و «اطلاعات کامل با در نظر گرفتن کاربری‌های خاص» را نشان می‌دهد. در این شکل لینک‌هایی که به رنگ قرمز هستند، مسیرهایی‌اند که عامل‌ها در سناریوهای «اطلاعات کامل» از آن‌ها گذر کرده‌اند، ولی در سناریوی «اطلاعات کامل با در نظر گرفتن کاربری‌های خاص» دیگر استفاده نکرده‌اند. همچنین تیره‌تر بودن رنگ نیز بیانگر تعداد دفعات استفاده از آن لینک است. لینک‌هایی که به رنگ سبز هستند، مسیرهایی‌اند که عامل‌ها تنها در سناریوهای «اطلاعات کامل با در نظر گرفتن کاربری‌های خاص» از آن‌ها گذر کرده‌اند و لینک‌های زردرنگ بیانگر لینک‌های مشترک در این دو سناریو هستند. ۴۴۴۰ لینک در سناریو «اطلاعات کامل» و ۴۳۸۲ لینک در سناریو «اطلاعات کامل با در نظر گرفتن کاربری‌های خاص» استفاده شده است که دراین‌بین ۳۲۷۹ لینک بین آن‌ها مشترک بوده است؛ بنابراین اختلاف زیادی بین لینک‌های استفاده شده در دو سناریو وجود ندارد و این نشان می‌دهد که واردکردن معیار کاربری‌ها در اطلاعات مکانی ارائه‌شده به عامل‌ها نه‌تنها تأثیر منفی بر نتایج نداشته است بلکه حتی تعداد لینک کمتری در این سناریو استفاده شده است. از طرفی دیگر همان‌طور که دیده می‌شود، لینک شامل کاربری مدرسه به رنگ قرمز تیره است و این بیانگر آن است که عامل‌ها در سناریو «اطلاعات کامل با در نظر گرفتن کاربری‌های خاص» نسبت به سناریو «اطلاعات کامل» مسیر خود را طوری تغییر داده‌اند که حتی‌الامکان از لینک شامل

کاربری مدرسه عبور نکنند و بااینکه دسترسی کامل به اطلاعات داشته‌اند ولی به علت بهینه‌سازی در اطلاعات ارائه‌شده، از لینک شامل کاربری مدرسه در دفعات کمتری استفاده کرده‌اند. از طرفی دیگر، بهینه‌سازی اطلاعات ارائه‌شده، به‌طور قابل‌توجهی بر توزیع مکانی سفر یکنواخت‌تری پیدا کند. این موضوع، به‌ویژه در شرایط اختلال، می‌تواند به سیاست‌گذارانِ در این زمینه، کمک نماید و با بهینه‌سازی و توجه به معیارهایی همچون نوع کاربری‌ها در طراحی اطلاعات ارائه‌شده به مسافران، هم توزیع مکانی یکنواخت‌تری در سفرها حاصل خواهد شد و هم می‌توان سودمندی همه‌جانبه را حفظ نمود به‌طوری‌که هم مسافران و هم دیگر افراد درگیر با این مسئله به حداکثر مطلوبیت سفر و رضایت از شرایط، دست یابند.



شکل ۱۳: تغییر مسیر عامل‌ها در حالت اطلاعات کامل «بدون در نظر گرفتن نوع کاربری» و «با در نظر گرفتن نوع کاربری»

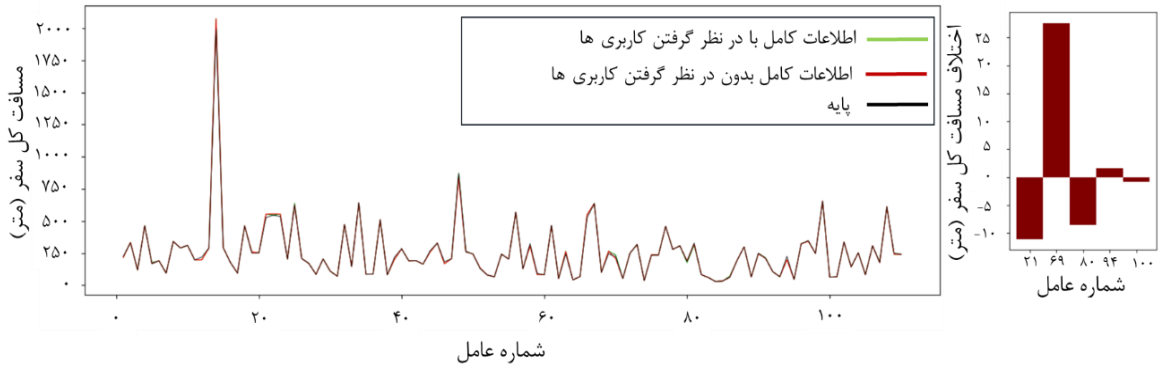
برای ارزیابی این موضوع که با تغییر در طراحی اطلاعات و وارد نمودن معیار کاربری‌ها در اطلاعات ارائه‌شده در جهت افزایش مطلوبیت سفر و رضایت دیگر افراد (همچون ساکنین محلی)، آیا همچنان مطلوبیت سفر مسافران حفظ‌شده است یا خیر، امتیاز عامل‌ها را در دو سناریو پیشنهادی و سناریو اطلاعات کامل موردبررسی قرار داده‌ایم. شکل (۱۴) روند صعودی امتیاز عامل‌ها در دو سناریو مذکور را نشان می‌دهد، همان‌طور که دیده می‌شود تفاوتی در روند امتیازدهی عامل‌ها دیده نمی‌شود و فرض ما در مورد حفظ سودمندی همه‌جانبه برای همه افراد در سناریو پیشنهادی قابل‌تأیید است. جدول (۲) نیز نشان می‌دهد که با در نظر گرفتن نوع کاربری در طراحی اطلاعات، تأثیر زیادی در کاهش میزان رضایت و مطلوبیت سفر عامل‌ها نداشته است؛ بنابراین با در نظر گرفتن نوع کاربری‌ها، علاوه بر حفظ رضایت ساکنین و ...، مطلوبیت سفر و رضایت مسافران همچنان حفظ‌شده است. شکل (۱۵) و شکل (۱۶) نیز در جهت تأیید نتایج بالا نشان می‌دهد که واردکردن معیار کاربری‌ها در اطلاعات مکانی ارائه‌شده هیچ تأثیر منفی در مسافت طی شده و تعداد لینک‌های استفاده‌شده در سفر عامل‌ها نداشته است و به طور کلی اختلاف برابر صفر است و در مواردی که اختلاف مخالف صفر وجود دارد مقدار آن بسیار کم است و همان‌طور که اختلاف مثبت وجود دارد، اختلاف منفی نیز وجود دارد.



شکل ۱۴: امتیاز عامل‌ها در تکرارهای مختلف در دو حالت بدون در نظر گرفتن نوع کاربری و با در نظر گرفتن نوع کاربری

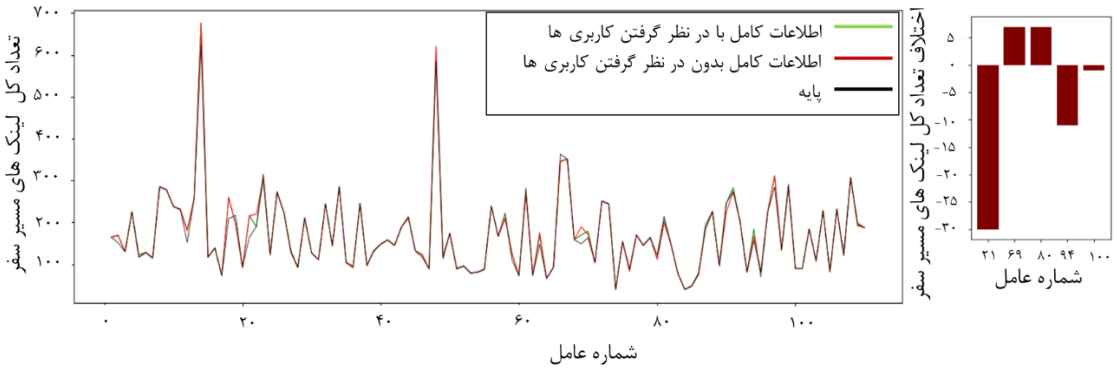
جدول ۲: مقایسه شاخص میانگین حسابی میزان رضایت عامل‌ها در دو سناریو اطلاعات کامل «بدون در نظر گرفتن نوع کاربری» و «با در نظر گرفتن نوع کاربری‌های خاص»

سناریو / عامل	بدون در نظر گرفتن نوع کاربری *A*	با در نظر گرفتن نوع کاربری *B*	اختلاف دو حالت *A-B*
کل عامل‌ها	۹۸٫۲۷۴۴	۹۸٫۲۳۴۷	۰٫۰۳۹۷
عامل‌های درگیر شده با اختلال شبکه	۸۹٫۰۶۷۳	۸۸٫۹۵۷۸	۰٫۱۰۹۵



(الف) (ب)

شکل ۱۵: (الف) مسافت کل سفرهای عامل‌ها در بازه یک‌روزه در سه سناریو- (ب) اختلاف مسافت کل سفرهای عامل‌های درگیر با اختلال در دو سناریو اطلاعات کامل و بدون اطلاعات (اختلاف‌های مخالف صفر)

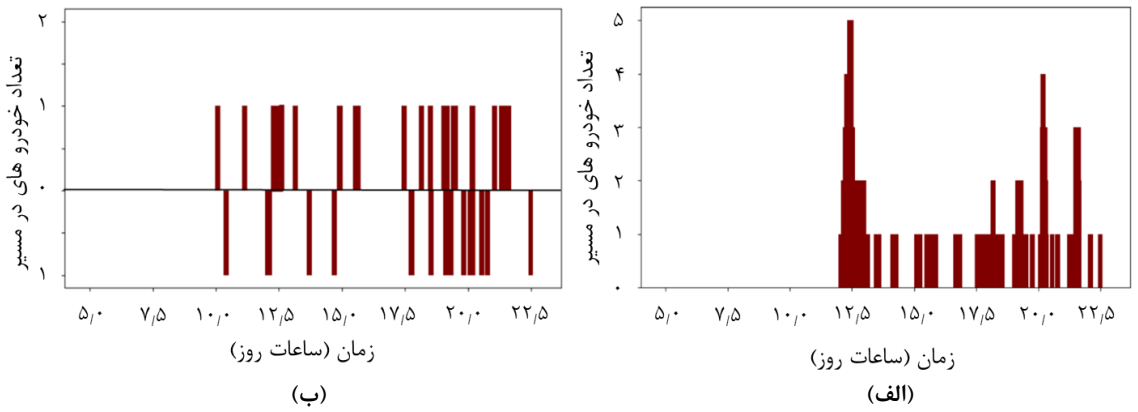


(الف) (ب)

شکل ۱۶: (الف) تعداد کل لینک‌های مسیر سفرهای عامل‌ها در بازه یک‌روزه در سه سناریو- (ب) اختلاف مسافت کل سفرهای عامل‌های درگیر با اختلال در دو سناریو اطلاعات کامل و بدون اطلاعات (اختلاف‌های مخالف صفر)

شکل (۱۷-الف) توزیع زمانی سفر عامل‌ها در دو سناریو «اطلاعات کامل با در نظر گرفتن کاربری‌ها» و «بدون اطلاعات» را نشان می‌دهد. همان‌طور که دیده می‌شود در این سناریو نیز همانند سناریو «اطلاعات کامل»، تعداد خودروهای در مسیر کمتری نسبت به حالت بدون اطلاعات دارد و سودمندی تأثیر دسترسی به اطلاعات بر رفتار مسافران حفظ‌شده است و همین‌طور این موضوع در ساعات اوج (حدود ساعت ۱۲ ظهر که بسیاری از اماکن بسته می‌شوند و افراد زیادی برای صرف ناهار و دیگر فعالیت‌های روزانه، اقدام به سفر می‌کنند) پررنگ‌تر می‌شود. از طرفی دیگر با توجه به شکل مذکور و همان‌طور که پیش‌تر گفته شد، استفاده از اطلاعات کاربری‌ها تنها از ساعت ۰۷:۰۰ صبح تا ۱۲:۰۰ در نظر گرفته شد درصورتی‌که این اختلاف تعداد خودروهای در مسیر تا حدود ساعت ۲۲:۰۰ شب همچنان بیشتر از صفر است. این موضوع نشان می‌دهد که تأثیر دسترسی به اطلاعات مکانی بر رفتار سفر افراد تنها به زمان اختلال و یا زمان استفاده از این اطلاعات، ختم نمی‌شود و تأثیر آن تا ساعت‌ها بعد نیز وجود دارد چراکه ممکن است دسترسی به این اطلاعات نوع فعالیت و زمان انجام فعالیت را تغییر دهد، به عنوان مثال فردی که قصد فعالیت خرید را داشته است و با دسترسی به اطلاعات مکانی متوجه اختلال در مسیر منتهی به فروشگاه مدنظر شده است، ممکن است فعالیت خود را به تأخیر بیندازد و ساعت‌ها بعد و یا حتی روز بعد این فعالیت را ادامه دهد که البته این موضوع به میزان زیادی به نوع فعالیت (اجباری بودن یا نبودن) بستگی دارد؛ بنابراین تأثیر اطلاعات مکانی بر رفتار مسافران می‌تواند ساعت‌ها بعد از استفاده از آن‌ها ادامه داشته باشد.

شکل (۱۷-ب) اختلاف در تعداد خودروهای در مسیر را نسبت به سناریو اطلاعات کامل نشان می‌دهد. همان‌طور که دیده می‌شود، هیچ اختلاف معناداری بین سناریو «اطلاعات کامل با در نظر گرفتن کاربری‌ها» و «اطلاعات کامل» وجود ندارد و همان‌طور که اختلاف بزرگ‌تر از صفر وجود دارد، کمتر از صفر نیز وجود دارد. این بدان معنی است که با اضافه نمودن معیار کاربری‌ها هیچ تأثیر منفی در تعداد خودروهای در مسیر و توزیع زمانی سفرها نداشته است.



شکل ۱۷: مقایسه تعداد خودروهای در مسیر در سناریو پیشنهادی نسبت به (الف) سناریو بدون اطلاعات – (ب) سناریو اطلاعات کامل

۶- نتیجه‌گیری و پیشنهادها

در مقاله حاضر از چهار سناریو «پایه»، «بدون اطلاعات»، «اطلاعات کامل» و «اطلاعات کامل با در نظر گرفتن کاربری‌های خاص» استفاده شده است تا بتوان رفتار مسافران را در سطوح دسترسی مختلف مقایسه نمود. از نتایج حاصل از اجرای سناریوهای ذکرشده بر روی داده‌های نلسون ماندلا در متسیم، نتیجه‌گیری‌های زیر حاصل شده است:

- در شرایط اختلال در شبکه با دسترسی به اطلاعات کامل زمان کل سفر نسبت به حالت بدون اطلاعات کمتر بوده و این بدان معنی است که هنگام اختلال در شبکه وجود اطلاعات و دسترسی به آن می‌تواند به میزان قابل‌توجهی زمان سفر را کاهش داده و از تأخیر احتمالی مسافران تا حد امکان بکاهد. از طرفی دیگر نیز دسترسی به اطلاعات کامل باعث افزایش رضایت مسافران از سفر خود می‌شود.
- مهم‌ترین نتیجه‌گیری از دو سناریو «اطلاعات کامل» و «بدون اطلاعات» این است که در شرایط اختلال در شبکه با دسترسی مسافران به اطلاعاتی که کاملاً مسافر محور هستند، می‌توانند سودمندی سفر خود را حفظ کرده و با تغییر رفتار سفر خود مانند تغییر مسیر، سفر خود را بهینه کنند؛ اما مسئله‌ای که وجود دارد این است که این اطلاعات ارائه‌شده کاملاً مسافر محور بوده و تنها در جهت افزایش سودمندی سفر از دید مسافر عمل می‌کنند و توجهی به معیارهای مهمی همچون ویژگی‌های مکانی، کاربری‌ها و وضعیت ساکنین ندارند و ممکن است مسافران را به تغییر مسیر به مسیرهایی که شامل کاربری‌های خدماتی همچون بیمارستان‌ها و آتش‌نشانی‌ها هستند و ازدحام ترافیکی موضوعی حیاتی برای خدمات آن‌ها است و یا به مسیرهایی که شامل کاربری‌هایی همچون مدارس است و احتمال عبور کودکان در آن مسیر زیاد است، راهنمایی و ترغیب کنند. بنابراین بر اساس ایده پیشنهادی این تحقیق، معیار کاربری‌ها به اطلاعات ارائه شده به مسافران اضافه گردید و سناریو دیگری تحت عنوان «اطلاعات پیشرفته با در نظر گرفتن کاربری‌های خاص» اجرا گشت و نتایج نشان داد که راه‌حل پیشنهادی این تحقیق به درستی عمل کرده و عامل‌ها در سناریو «اطلاعات پیشرفته با در نظر گرفتن کاربری‌های خاص» بااینکه دسترسی کامل به اطلاعات داشته‌اند ولی به علت بهینه‌سازی در اطلاعات ارائه‌شده، از لینک شامل کاربری مدرسه در دفعات کمتری استفاده کرده‌اند.
- بهینه‌سازی اطلاعات ارائه‌شده بر اساس ایده پیشنهادی، به‌طور قابل‌توجهی بر توزیع سفر عامل‌ها تأثیر گذاشته است و باعث شده است که مسیرهای انتخابی توسط عامل‌ها متنوع‌تر و تراکم ترافیکی،

توزیع یکنواخت‌تری پیدا کند. این موضوع، به‌ویژه در شرایط اختلال، می‌تواند به سیاست‌گذارانِ در این زمینه کمک نماید و با بهینه‌سازی و توجه به معیارهایی همچون نوع کاربری‌ها در طراحی اطلاعات ارائه‌شده به مسافران، هم توزیع ترافیکی یکنواخت‌تری حاصل خواهد شد و هم می‌توان سودمندی همه‌جانبه را حفظ نمود، به‌طوری‌که هم مسافران و هم دیگر افراد درگیر با این موضوع به حداکثر مطلوبیت سفر و رضایت از شرایط، دست یابند.

- با در نظر گرفتن نوع کاربری در طراحی اطلاعات، تأثیر زیادی در کاهش میزان رضایت و مطلوبیت سفر عامل‌ها نداشته است؛ بنابراین با در نظر گرفتن نوع کاربری‌ها، علاوه بر حفظ رضایت ساکنین و ...، مطلوبیت سفر و رضایت مسافران همچنان حفظ شده است.
- در سناریو «اطلاعات پیشرفته با در نظر گرفتن کاربری‌های خاص» نیز همانند سناریو «اطلاعات کامل»، تعداد خودروهای در مسیر کمتری نسبت به حالت بدون اطلاعات دارد و سودمندی تأثیر دسترسی به اطلاعات بر رفتار مسافران حفظ شده است و همین‌طور این موضوع در ساعات اوج (حدود ساعت ۱۲ ظهر که بسیاری از اماکن بسته می‌شوند و افراد زیادی برای تهیه نهار و دیگر فعالیت روزانه خود، اقدام به سفر می‌کنند) پررنگ‌تر می‌شود.
- در نتایج حاصله از تعداد خودروهای در مسیر در طول روز، هیچ اختلاف معناداری بین سناریو «اطلاعات پیشرفته با در نظر گرفتن کاربری‌ها» و «اطلاعات پیشرفته» وجود ندارد و این بدان معنی است که افزودن معیار کاربری‌ها هیچ تأثیر منفی در تعداد خودروهای در مسیر نداشته است.

پیشنهادی که برای تحقیقات آتی می‌توان داشت، در مورد شبیه‌سازی در متسیم است. متسیم یک شبیه‌ساز مایکروی بزرگ‌مقیاس است و برای شبیه‌سازی توجه چندانی به جزییات مسئله ندارد. به‌عنوان‌مثال در مورد عامل‌ها که نقش مسافران در دنیای واقعی را بازی می‌کنند، هیچ تمایزی بین عامل‌ها ازنظر ویژگی‌های فردی قائل نمی‌شود، درصورتی‌که همان‌طور که بیان شد، بعد «چه کسانی» با ویژگی‌های فردی مختلف، فاکتوری مهم و اثرگذار بر روی دسترسی به اطلاعات است. سن، میزان سواد و غیره از این موارد هستند. به‌عنوان‌مثال افراد مسن و بی‌سواد نسبت به افراد جوان و باسواد دسترسی پایین‌تری به اطلاعات دارند؛ بنابراین پیشنهاد بر این است که توجه به فاکتورهای این‌چنینی می‌تواند نتایج حاصل از شبیه‌سازی را به واقعیت نزدیک‌تر کند.

مراجع

[1] *N. Leng and F. Corman, "The role of information availability to passengers in public transport disruptions: An agent-based simulation approach", Transportation Research Part A: Policy and Practice, vol. 133, pp. 214–236, 2020.*

[2] *O. Dib, M.-A. Manier, L. Moalic, and A. Caminada, "A multimodal transport network model and efficient algorithms for building advanced traveler information systems", Transportation research procedia, vol. 22, pp. 134–143, 2017.*

[3] *M. Jakimavičius, V. Palevičius, J. Antuchevičiene, and T. Karpavičius, "Internet GIS-Based Multimodal Public Transport Trip Planning Information System for Travelers in Lithuania", ISPRS International Journal of Geo-Information, vol. 8, no. 8, p. 319, 2019.*

[4] *O. Kem, F. Balbo, and A. Zimmermann, "Traveler-oriented advanced traveler information system based on dynamic discovery of resources: potentials and challenges", Transportation research procedia, vol. 22, pp. 635–644, 2017.*

[5] *P.C Bouman, "Passengers, Crowding and Complexity: Models for passenger oriented public transport", Erasmus University*

Rotterdam, 2017.

[6] J. Peng, J. Zhi-cai, and G. Lin-jie, "Application of the Expanded Theory of Planned Behavior in Intercity Travel Behavior," Discrete Dynamics in Nature and Society, vol. 2014, p. 308674, Mar. 2014, doi: 10.1155/2014/308674.

[7] J. Scheiner, "Why is there change in travel behaviour? In search of a theoretical framework for mobility biographies," Erdkunde, vol. 72, no. 1, pp. 41–62, 2018.

[8] K. Maat, B. Van Wee, and D. Stead, "Land use and travel behaviour: expected effects from the perspective of utility theory and activity-based theories," Environment and Planning B: Planning and Design, vol. 32, no. 1, pp. 33–46, 2005.

[9] J. Hong, P. (Vonu) Thakuriah, P. Mason, and C. Lido, "The role of numeracy and financial literacy skills in the relationship between information and communication technology use and travel behaviour," Travel Behaviour and Society, vol. 21, pp. 257–264, Oct. 2020, doi: 10.1016/j.tbs.2020.07.007.

[10] R. Tsuchiya, Y. Sugiyama, K. Yamauchi, K. Fujinami, R. Arisawa, and T. Nakagawa, "Route-choice support system for passengers in the face of unexpected disturbance of train operations", WIT Transactions on the Built Environment, vol. 88, pp. 189–197, 2006.

[11] M. van Essen, T. Thomas, E. van Berkum, and C. Chorus, "Travelers' compliance with social routing advice: evidence from SP and RP experiments", Transportation, vol. 47, no. 3, pp. 1047–1070, 2020.

[12] Y. Ge, P. Jabbari, D. MacKenzie, and J. Tao, "Effects of a public real-time multi-modal transportation information display on travel behavior and attitudes", Journal of Public Transportation, vol. 20, no. 2, p. 3, 2017.

[13] B. Van Wee, K. Geurs, and C. Chorus, "Information, communication, travel behavior and accessibility", Journal of Transport and Land Use, vol. 6, no. 3, pp. 1–16, 2013.

[14] J. N. Fotis, "The Use of social media and its impacts on consumer behaviour: the context of holiday travel", PhD diss., Bournemouth University, 2015.

[15] M. Meng, A. A. Memon, Y. D. Wong, and S.-H. Lam, "Impact of traveller information on mode choice behaviour", presented at Proceedings of the Institution of Civil Engineers-Transport, Thomas Telford Ltd, 2018.

[16] A. M. Al-Adamat, J. A. Al-Gasawneh, and N. A. Sourak, "The Mediating Effect of Perceived Value on the Relationship between Online Promotion and Travel Intention", Test Engineering and Management, vol. 83, pp. 14911 - 14920, 2020.

[17] C. Pronello, J. P. R. V. Simão, and V. Rappazzo, "The effects of the multimodal real time information systems on the travel behaviour", Transportation research procedia, vol. 25, pp. 2677–2689, 2017.

[18] J. Barceló, J. Casas, J. Ferrer, and D. García, "Modelling advanced transport telematic applications with microscopic simulators: The case of AIMSUN2", in Traffic and Mobility, Springer, pp. 205–221, 1999.

[19] T. Arentze and H. Timmermans, Albatross: a learning based transportation oriented simulation system. Citeseer, 2000.

[20] Q. Han, T. Arentze, H. Timmermans, D. Janssens, and G. Wets, "The effects of social networks on choice set dynamics: Results of numerical simulations using an agent-based approach", Transportation Research Part A: Policy and Practice, vol. 45, no. 4, pp. 310–322, May 2011.

[21] M. Paulsen, T. K. Rasmussen, and O. A. Nielsen, "Modelling railway-induced passenger delays in multi-modal public transport networks: an agent-based Copenhagen case study using empirical train delay data", presented at the 14th

Conference on Advanced Systems in Public Transport and TransitData 2018.

[22] I. Kaddoura and K. Nagel, "Using real-world traffic incident data in transport modeling", Procedia computer science, vol. 130, pp. 880–885, 2018.

[23] A. Stahel, F. Ciari, and K. W. Axhausen, "Modeling impacts of weather conditions in agent-based transport microsimulations", presented at the TRB 93rd Annual Meeting Compendium of Papers, Washington, 2014.

[24] C. Heyndrickx, F. Rodric, P. M. Bösch, and F. Ciari, "Benefits of informing travellers in case of extreme precipitation events: A model based case study for Zurich using MATSim", Arbeitsberichte Verkehrs-und Raumplanung, vol. 1108, 2015.

[25] J. Hong, P. (Vonu) Thakuriah, P. Mason, and C. Lido, "The role of numeracy and financial literacy skills in the relationship between information and communication technology use and travel behaviour", Travel Behaviour and Society, vol. 21, pp. 257–264, Oct. 2020.

[26] M. Balmer, N. Cetin, K. Nagel, and B. Raney, "Towards truly agent-based traffic and mobility simulations", Proceedings of the Third International Joint Conference on Autonomous Agents and Multiagent Systems, New York, 2004.

[27] D. Charypar and K. Nagel, "Generating complete all-day activity plans with genetic algorithms", Transportation, vol. 32, no. 4, pp. 369–397, 2005.

[28] H. Zheng et al., "A primer for agent-based simulation and modeling in transportation applications", United States: Federal Highway Administration, 2013.

[29] K. W Axhausen, A. Horni, and K. Nagel, "The multi-agent transport simulation MATSim". Ubiquity Press, 2016.

[30] L. Zhang and D. Levinson, "Agent-based approach to travel demand modeling: Exploratory analysis," Transp. Res. Rec., vol. 1898, no. 1, pp. 28–36, 2004.

K. N. TOOSI UNIVERSITY OF TECHNOLOGY
FACULTY OF GEODESY AND GEOMATICS ENGINEERING

Journal of Geospatial Information Technology
Vol.10, No.1, Spring 2022

Research Paper

The impact of access to geospatial information and land-use on users' travel behavior in disruption management in road networks of smart city

Fatemeh mahdavi peikani [1], Rahim Ali abbaspour [2]*, Mahsa Naseri [3]

1- Ms.c student of Geospatial Information System in School of Surveying and Geospatial Engineering, College of Engineering, University of Tehran
2- Associate professor in School of Surveying and Geospatial Engineering, College of Engineering, University of Tehran
3- Ph.D. student of Transportation Engineering in Department of Civil Engineering, University of Monash, Australia

Abstract

Today, city smartization and access to published information, influence the daily decisions of the citizens and changes their travel behavior. Although this information is an important step towards smart city and can be of great help to people, it can have side effects. In critical network situations, when a route is disrupted by an accident or route repair, spatial information providers offer options that are completely passenger-oriented and don't care about criteria such as spatial features, landuses, and residents's status. In the present paper, first the effect of access to spatial information on passenger behavior is investigated and it is shown that providing passenger-oriented spatial information to passengers may reduce the utility of the other travelers and residents; Therefore, a solution has been proposed that, on the one hand, maximizes the utility of passengers, on the other hand, maintains the utility of other people involved in this issue. For this purpose, in designing spatial information provided to travelers, the criteria of landuses have been taken into consideration. The agent-based model has been used to evaluate the proposed solution and three scenarios of "no information", "advanced information" and "advanced information considering specific landuses" have been used to evaluate passenger behavior. The data used to evaluate the proposed idea relates to the port of Elizabeth in Nelson Mandela Bay. The results show that having access to information can lead to a reduction in total travel time, a reduction in potential passenger delays, and an increase in passenger satisfaction in a network disruption. It has been shown that using special landuses in spatial data designing not only maintains the aforementioned benefits for travelers, but also provides comprehensive benefits for all those involved.

Key words: *information availability, disruption management, design information, travel behavior, agent-based simulation.*

Correspondence Address: *Geospatial Information System Group, School of Surveying and Geospatial Engineering, College of Engineering, University of Tehran, Tehran, Iran.*
Tel : *+98 2161114251.*
Email*: abaspour@ut.ac.ir*