

شناسایی الگوهای حرکتی درون شهری بر مبنای داده‌های شبکه‌های اجتماعی مکان مبنا

اسما خیری^۱، فرید کریمی پور^{۲*}، محمد فرقانی^۳

^۱ دانشجوی کارشناسی ارشد سنجش از دور و سیستم‌های اطلاعات مکانی - دانشکده فنی و مهندسی - دانشگاه آزاد

اسلامی - واحد لارستان

asma.kheiri@ymail.com

^۲ استادیار دانشکده مهندسی نقشه‌برداری و اطلاعات مکانی - پردیس دانشکده‌های فنی - دانشگاه تهران

fkarimipr@ut.ac.ir

^۳ دانشجوی دکتری سیستم‌های اطلاعات مکانی - دانشکده مهندسی نقشه‌برداری و اطلاعات مکانی - پردیس

دانشکده‌های فنی - دانشگاه تهران

mo.forghani@ut.ac.ir

(تاریخ دریافت فروردین ۱۳۹۵، تاریخ تصویب خرداد ۱۳۹۵)

چکیده

امروزه علوم شهری و رفتاری در حال تجربه‌ی دوره‌ی جدید تحت عنوان دوره‌ی داده‌های عظیم است. با توسعه‌ی هم‌زمان تکنولوژی‌های ارتباطاتی و اطلاعاتی و تکنولوژی‌های مکان مبنا، یک حجم غیر قابل پیش‌بینی از داده تحت عنوان داده‌های عظیم، تولید شده و هر روز نیز به آن افزوده می‌شود. این مجموعه‌های عظیم اطلاعاتی مرتبط با رفتار انسان، به محققان اجازه می‌دهد که رفتارهای تحرک و تعامل انسان‌ها را با دقت بی‌سابقه‌ای مطالعه نمایند و بر این اساس به الگوهای جابجایی افراد بین مناطق مختلف جغرافیایی دست یابند. در این میان، شبکه‌های اجتماعی مکان مبنا که یک مفهوم جدید از رسانه‌های اجتماعی روی خط می‌باشند، دارای پتانسیل بالا برای تولید داده‌هایی با دقت مکانی و زمانی بیشتر، اندازه نمونه بزرگ‌تر و هزینه بسیار پایین‌تر می‌باشند. داده‌های حاصل از این شبکه‌ها یکی از مدرن و به‌روزترین منابع داده‌ای است که امروزه مورد توجه محققین در موضوع مدیریت شهری قرار گرفته است و به آن‌ها اجازه می‌دهد تا سه جنبه‌ی مهم تحرک و تعامل انسان شامل: مکان، زمان و ارتباطات اجتماعی را مورد بررسی قرار دهند. در این تحقیق ضمن تشریح و بررسی عملکرد دو مدل تابشی و PWO به منظور برآورد ماتریس مبدا-مقصد تلاش شده است که با توسعه این مدل‌ها به منظور استفاده از اطلاعات قابل استخراج از داده‌های شبکه‌های اجتماعی مکان مبنا به عنوان پارامترهای ورودی این دو مدل، الگوهای حرکتی بین مناطق مختلف شهری شناسایی و ماتریس مبدا-مقصد بهینه استخراج گردد. نتایج ارزیابی ماتریس مبدا-مقصد مدل شده نشان می‌دهد که سفرهای پیش‌بینی شده حدود ۷۰٪ سفرهای واقعی را بازسازی می‌نماید. این امر پتانسیل بالای داده‌های شبکه‌های اجتماعی مکان مبنا را در شناسایی رفتار حرکتی شهروندان و مدل‌سازی حرکت جمعیت پویای شهری اثبات می‌کند.

واژگان کلیدی: شبکه‌های اجتماعی مکان مبنا، داده‌های نقطه-مکان، الگوهای حرکتی، ماتریس مبدا-مقصد

۱- مقدمه

رفتار حرکتی افراد، بخش مهمی از فعالیت‌های انسانی در یک محیط شهری است که شناسایی ساختار و تحلیل آن می‌تواند منجر به استخراج الگوهای حرکتی در مقیاس شهری شود [۱]. کشف الگوهای حرکتی در وسعت یک شهر می‌تواند کمک زیادی به شناخت ساختار پیچیده‌ی مکانی-زمانی شهرهای بزرگ امروزی کرده و در مباحث مختلف طراحی شهری، مدیریت شهری، حمل‌ونقل و مدیریت بحران کاربرد داشته باشد. یکی از پایه‌ای‌ترین تحلیل‌ها در بحث تحلیل رفتار حرکتی جمعی، استخراج ماتریس مبدأ-مقصد^۱ و ترسیم نقشه‌ی جریان حرکتی^۲ است [۲]. یک ماتریس مبدأ-مقصد بیانگر تعداد جابجایی‌ها بین هر دو مکان در یک محدوده‌ی جغرافیایی است که می‌تواند در مقیاس‌های مختلف بین شهری و درون‌شهری برآورد شود. این ماتریس در سطح درون‌شهری، نشان‌دهنده‌ی جابجایی افراد بین مناطق مختلف شهر است و تحلیل آن می‌تواند اطلاعات با ارزشی را در مورد ساختار ارتباطی بین مناطق مختلف شهری و نیز شرایط اجتماعی شهروندان آن محدوده فراهم کند.

روش‌های موجود برای برآورد چگونگی توزیع سفرهای شهری و تولید ماتریس مبدأ-مقصد را می‌توان به سه دسته کلی تقسیم کرد [۳]: (۱) روش‌های مبتنی بر برداشت میدانی، (۲) روش‌های مبتنی بر سنسورهای شمارنده و (۳) روش‌های مبتنی بر تکنولوژی‌های مکان‌یابی.

در روش‌های مبتنی بر برداشت میدانی که به عنوان روش‌های سنتی برآورد ماتریس مبدأ-مقصد در نظر گرفته می‌شوند، به سبک سرشماری و از طریق تلفن، مصاحبه‌ی حضوری و پست الکترونیکی از مردم شهر در مورد سفرها، فاصله بین محل کار و سکونت و ... سوال شده و بر اساس اطلاعات به دست آمده ماتریس مورد نظر برآورد می‌شود. این روش‌ها به سبب داشتن ماهیت میدانی، وقت‌گیر، هزینه‌بر و پر زحمت هستند و از آنجا که الگوهای حرکتی می‌توانند به طور قابل توجهی با تغییر زمان در طی روز و تغییر روزهای هفته متغیر باشند، داده‌های حاصل از این روش‌ها قادر به تولید اطلاعات به روز جهت بازتاب

تغییرات سریع در الگوهای حرکتی نمی‌باشند و در اندازه نمونه و تعداد دفعات اندازه‌گیری نیز دارای محدودیت هستند.

در روش‌های مبتنی بر سنسورهای شمارنده، ماتریس مبدأ-مقصد بر اساس داده‌های حاصل از آشکارسازهای ترافیکی برآورد می‌شود [۴]. در این روش‌ها با تجهیز خیابان‌ها به سنسورها و دوربین‌های ترافیکی، میزان رفت و آمد بین مناطق مختلف یک شهر تخمین زده می‌شود. اگرچه این روش‌ها نسبت به روش‌های میدانی از هزینه‌ی نسبتاً پایین‌تری برخوردار هستند و می‌توانند اطلاعات توزیع سفر را به صورت پویا فراهم کنند، اما به زیرساخت‌های موجود که نصب و نگهداری آنها هزینه‌های سنگینی در پی دارد، وابسته‌اند. علاوه بر این، برآورد ماتریس مبدأ-مقصد با استفاده از این روش‌ها به علت محدودیت داده‌ها بسیار چالش برانگیز است و این موضوع باعث تولید ماتریس‌های مبدأ-مقصد غیر منحصربه‌فرد می‌شود [۳] و [۵].

در روش‌های مبتنی بر تکنولوژی‌های مکان‌یابی تلاش می‌شود با مکان‌یابی افراد در یک بازه‌ی زمانی و با تجمع دنباله‌های حرکتی^۳ آن‌ها به برآوردی از روند حرکت جمعی افراد در قالب ماتریس مبدأ-مقصد دست یافت. از جمله روش‌هایی که در دسته سوم قرار می‌گیرند می‌توان به جمع‌آوری داده‌های GPS تاکسی‌ها، استفاده از اطلاعات مکانی شبکه‌های تلفن همراه و بکارگیری اطلاعات شبکه‌های اجتماعی مکان مبنا اشاره کرد. در سال‌های اخیر، داده‌های شبکه‌های اجتماعی مکان مبنا به عنوان یکی از منابع نوظهور اطلاعات توزیع سفر، تعداد فزاینده‌ای از کاربران را به خود جذب نموده و به طور قابل توجهی امکان دسترسی به داده‌های مبتنی بر تجربه‌ی شهری افراد را افزایش داده‌اند. در مقایسه با داده‌های سنتی مانند داده‌های GPS، داده‌های شبکه‌های اجتماعی مکان مبنا با داشتن ویژگی‌های منحصربه‌فرد و اطلاعات بسیار، با در نظر گرفتن دنباله‌ی زمانی داده‌های نقطه-مکان^۴ یک فرد خاص به عنوان دنباله‌ی حرکتی وی، قادر به شناسایی رفتار حرکتی افراد می‌باشند. از این رو، اطلاعات این شبکه‌ها فرصتی را برای درک بهتر رفتار حرکتی افراد از

^۳ Trajectories
^۴ Check-Ins Data

^۱ OD Matrix
^۲ Flow Map

فراهم می‌کند. در سال‌های اخیر، میزان عضویت در شبکه‌های اجتماعی تحت وب مانند Facebook^۲، Twitter^۳ و LinkedIn^۴ به طور چشم‌گیری پیشرفت داشته است. از سوی دیگر، در سال‌های اخیر دستگاه‌های دیجیتال قابل حمل (مانند گوشی‌های تلفن همراه هوشمند) که به تکنولوژی‌های مدرن مکان‌یابی (مانند GPS) و ارتباطات بی‌سیم (مانند Wi-Fi و 3G) مجهز هستند با پیشرفت کننده و استقبال زیادی رو به رو شده‌اند. پس از پیشرفت شبکه‌های اجتماعی، تلفن‌های همراه هوشمند و سرویس‌های مکان‌آگاه و استقبال از آن‌ها، قدم بعدی، ترکیب این تکنولوژی‌ها با یکدیگر بود که منجر به پیدایش شبکه‌های اجتماعی مکان‌مبنا شد [۶]. شبکه‌های اجتماعی مکان‌مبنا، افراد را قادر ساخته است تا بعد مکانی را نیز به روش‌های مختلف، به شبکه‌های اجتماعی موجود اضافه کنند. برای مثال کاربرها می‌توانند عکس‌های خود را با مکان نشانه‌گذاری کرده و در شبکه‌های اجتماعی منتشر کنند (Flickr^۵) یا نظرشان را در مورد یک رویداد و زمانی که در محل آن رخداد هستند بیان کنند (Twitter) یا هر لحظه دوستانشان را از مکان خود مطلع کنند (Foursquare^۶).

اضافه شدن بعد مکان در شبکه‌های اجتماعی مکان‌مبنا باعث می‌شود که با ایجاد یک پل ارتباطی بین جهان واقعی و شبکه‌های اجتماعی مجازی، اطلاعات آن‌ها به واقعیت نزدیک‌تر شود. به عنوان مثال، یک کاربر می‌تواند نظر خود را در مورد رستوران محل صرف شام خود در یک شبکه‌ی اجتماعی بیان کند و به این ترتیب این فرصت را به دوستان خود بدهد که در زمان مراجعه به آن رستوران از نظر وی مطلع شوند. در این مثال، کاربران، تجربیات مکان‌مبنای خود در دنیای واقعی را با دیگران به اشتراک می‌گذارند و از اطلاعات به روز دیگر کاربران به خوبی بهره‌مند می‌شوند. علاوه بر این، از آنجا که المان مکان یکی از مهم‌ترین المان‌های فضای کاربر است، می‌توان بر اساس مکان‌های بازدید شده توسط فرد به اطلاعات گسترده‌ای در مورد علاقه‌مندی‌ها و رفتارهای او دست یافت. بنابراین، می‌توان گفت که شبکه‌های اجتماعی مکان‌مبنا افراد را قادر می‌سازد که با توجه به تشابه وابستگی

سه جنبه مکانی، زمانی و محتوا فراهم می‌کنند. علاوه بر این، با رشد سریع تلفن‌های همراه هوشمند، سرویس‌های شبکه‌های اجتماعی مکان‌مبنا به راحتی بر روی گوشی‌های شخصی نصب شده و بدون نیاز به مسائل نگهداری و به روزرسانی که در روش‌های سنتی مطرح است، قابل استفاده می‌باشند. همچنین، به علت رشد سریع ضریب نفوذ^۱ شبکه‌های اجتماعی، اندازه نمونه در این روش‌ها بسیار قابل توجه است. بر این اساس به نظر می‌رسد که داده‌های شبکه‌های اجتماعی مکان‌مبنا در مقایسه با سایر روش‌ها از پتانسیل بالایی در برآورد ماتریس مبدا-مقصد با قدرت تفکیک مکانی و زمانی بالاتر و هزینه‌ی بسیار پایین‌تر برخوردار باشد. ادامه مقاله در هشت بخش به شرح زیر تدوین شده است: در بخش دوم پس از مرور کلی بر شبکه‌های اجتماعی مکان‌مبنا، خصوصیات متمایز داده‌های حاصل از این شبکه‌ها بررسی می‌شود. در بخش سوم مدل‌های برآورد ماتریس مبدا-مقصد بررسی شده و نحوه‌ی عملکرد، پارامترهای موثر، مزایا و چالش‌های هر کدام بیان می‌شود. در بخش چهارم منطقه‌ی مورد مطالعه معرفی و نحوه‌ی پالایش داده‌ها، استخراج دنباله‌های حرکتی و پالایش سفرها بیان می‌شود. در بخش پنجم منطقه‌ی مورد مطالعه به منظور ساخت گراف ارتباطی سلول‌بندی و داده‌ها و سفرهای استخراجی بر روی منطقه مورد مطالعه نگاشت می‌شوند. در بخش شش به منظور مدل‌سازی میزان ارتباطات بین رئوس گراف ارتباطی، اطلاعات حاصل از داده‌های مکان‌مبنا به عنوان پارامترهای دو مدل در چهار روش مختلف در نظر گرفته شده و در ادامه این بخش به توضیح این چهار روش برای هر مدل پرداخته می‌شود. در نهایت در بخش هفتم به ارزیابی ماتریس‌های مبدا-مقصد مدل شده با استفاده از داده‌های ارزیابی سفر و در بخش هشتم به ارائه نتیجه‌گیری پرداخته می‌شود.

۲- شبکه‌های اجتماعی مکان‌مبنا

به صورت کلی یک شبکه‌ی اجتماعی، بازسازی کننده‌ی روابط اجتماعی افراد در محیط‌هایی مانند یک وب سایت بوده و راه‌هایی را برای کاربران برای به اشتراک‌گذاری ایده‌ها، فعالیت‌ها، اتفاقات و علائق بر روی بستر اینترنت

^۲ www.Facebook.com

^۳ www.Twitter.com

^۴ www.LinkdeIn.com

^۵ www.Flickr.com

^۶ www.Foursquare.com

^۱ Penetration Rate

متقابل نسبت به مکان‌های مورد نظر، روابط اجتماعی خود را گسترش دهند. به عنوان مثال، کسانی که به یک رستوران مشابه علاقه‌مند هستند، می‌توانند با یکدیگر ارتباط برقرار کنند.

از سوی دیگر استقبال روز افزون از این شبکه‌ها و در پی آن حجم بالای داده‌ی به اشتراک گذاشته شده توسط کاربران، شبکه‌های اجتماعی مکان مبنای تبدیل به منابع غنی اطلاعاتی کرده است که پتانسیل بسیار بالایی را برای کشف دانش^۱ و ارائه‌ی خدمات و سرویس‌های مختلف مکان مبنای فراهم نموده است [۷]. از آنجا که داده‌های حاصل از این شبکه‌ها شامل دنباله‌های مکانی و ارتباطات اجتماعی کاربران است، به محققین اجازه می‌دهد تا رفتارهای حرکتی کاربران را از سه جنبه مهم تحرک و تعامل انسان شامل: مکان، زمان و ارتباطات اجتماعی مورد بررسی قرار دهند.

۲-۱- خصوصیات داده‌های شبکه‌های اجتماعی مکان مبنای

داده‌های حاصل از شبکه‌های اجتماعی مکان مبنای با برداشتن هر دو نوع اطلاعات مکانی و اجتماعی، در مقایسه با داده‌های شبکه‌های اجتماعی آنلاین سنتی و داده‌های تلفن همراه، از جنبه‌های مختلف دارای خصوصیات متمایزی می‌باشند [۸].

۲-۱-۱- ویژگی مکانی

یکی از خصوصیات مهم شبکه‌های اجتماعی مکان مبنای که آن را از دیگر شبکه‌های اجتماعی آنلاین سنتی متفاوت نموده است، ویژگی مکانی است که به عنوان یک خصوصیت منحصر به فرد این شبکه‌ها در نظر گرفته می‌شود. کاربران شبکه‌های اجتماعی مکان مبنای قادر هستند ورود خود را در یک مکان فیزیکی ثبت کنند و به دوستان خود اجازه دهند که از وضعیت جغرافیایی آن‌ها مطلع شوند. به این ترتیب، می‌توان گفت که عمل اعلام مکان به عنوان یک پل ارتباطی بین دنیای واقعی و شبکه‌های اجتماعی آنلاین، شبکه‌های اجتماعی مکان مبنای را قادر می‌سازد که رفتار کاربر را به صورت نزدیک‌تر به

واقعیت در مقایسه با دیگر شبکه‌های اجتماعی آنلاین منعکس نمایند و فرصت مطالعه‌ی رفتار کاربر در دنیای واقعی از طریق رسانه‌های اجتماعی را فراهم کنند.

۲-۱-۲- حجم وسیع داده‌های حرکتی

امروزه، افزایش استفاده از دستگاه‌های تلفن همراه و سایت‌های شبکه‌های اجتماعی مکان مبنای منجر به ایجاد حجم بالایی از داده‌های حرکتی شده است. در مقایسه با داده‌های سنتی تلفن همراه که معمولاً از طریق حامل‌های مخابراتی و با در نظر گرفتن تعداد محدودی از کاربران جمع‌آوری می‌شود، سرویس‌های شبکه‌های اجتماعی مکان مبنای قادر هستند با استفاده از فن‌آوری web 2 همراه با GPS دستگاه‌های تلفن همراه، حجم بالایی از اطلاعات مکانی و اجتماعی را از طریق میلیون‌ها کاربر تولید کنند. به عنوان مثال، Google Latitude^۲ تعداد ۱۰ میلیون کاربر فعال در سال ۲۰۱۱ [۹]، Yelp^۳ حدود ۷۱ میلیون بازدید کننده به صورت ماهیانه در سه ماهه اول سال ۲۰۱۲ [۱۰] و Foursquare^۴ تعداد ۵۰ میلیون کاربر فعال ماهانه و ۷ بلیون اعلام مکان در آگوست ۲۰۱۵ را گزارش نموده‌اند [۱۱]. محققین به راحتی می‌توانند این اطلاعات را از طریق API های عمومی ارائه شده توسط سایت‌های شبکه‌های اجتماعی مکان مبنای تهیه نموده و امکان تجزیه و تحلیل حجم وسیعی از داده‌های مربوط به رفتار کاربران را از لحاظ مکانی، زمانی و اجتماعی فراهم آورند.

۲-۱-۳- توصیف دقیق موقعیت مکانی

سایت‌های شبکه‌های اجتماعی مکان مبنای توصیفات مکانی دقیق‌تری را در مقایسه با داده‌های نشانه‌گذاری شده با مکان ارائه می‌دهند. به عنوان مثال، در شبکه‌های اجتماعی مکان مبنای، دو رستوران مجاور در یک خیابان به راحتی از یکدیگر قابل تشخیص هستند و این امر به این علت است که داده‌های سنتی نشانه‌گذاری شده با مکان تنها طول و عرض جغرافیایی یک مکان را فراهم می‌کنند در حالی که شبکه‌های اجتماعی مکان مبنای مانند Foursquare و Facebook places^۴ با امکان ایجاد

^۲ http://en.wikipedia.org/wiki/Google_Latitude

^۳ www.Yelp.com

^۴ <http://www.facebook.com/about/location/>

^۱ Knowledge Discovery

توصیفات متنی مانند دسته‌بندی‌ها، نظرات و پیشنهادهای برای مکان‌های پر بازدید، توصیفات دقیق‌تری از مکان را فراهم آورده و از اینرو بسیاری از برنامه‌های مکان مبنا اعم از توصیه‌ی مکان تا محاسبات شهری را از طریق تزریق معنا به مکان‌های فیزیکی بهبود می‌بخشند.

۲-۱-۴- پراکندگی داده‌ها

در داده‌های سنتی تلفن همراه، موقعیت مکانی کاربران توسط برج‌های مخابراتی به صورت خودکار ثبت می‌شود در حالی که در شبکه‌های اجتماعی مکان مبنا، عمل اعلام مکان به عهده خود کاربر است. به عنوان مثال، کاربر تصمیم می‌گیرد که آیا در یک مکان خاص ورود خود را ثبت نماید یا با توجه به نگرانی‌های خاص حریم خصوصی این عمل را انجام ندهد. همچنین، ممکن است برخی از کاربران به طور مداوم در یک مکان چندین بار اعلام مکان کنند یا حتی بین دو اعلام مکان متوالی برخی از کاربران بیش از یک سال فاصله وجود داشته باشد. چنین رفتارهایی منجر به پراکندگی قابل توجهی در داده‌های حاصل از شبکه‌های اجتماعی مکان مبنا ایجاد خواهد شد که تا حد زیادی مشکلات تجزیه و تحلیل داده‌ها را افزایش می‌دهد.

۲-۱-۵- ارتباطات اجتماعی صریح

سایت‌های شبکه‌های اجتماعی مکان مبنا شامل اطلاعات تعاملات اجتماعی هستند به گونه‌ای که این اطلاعات به صراحت توسط کاربران تعریف شده است (یک کاربر می‌تواند به طور صریح کاربر دیگر را به عنوان یک دوست به لیست دوستی‌های خود اضافه کند)، در حالیکه در داده‌های سنتی تلفن همراه، شبکه‌های اجتماعی معمولاً از طریق بررسی شبکه‌ی ارتباطات کاربر جمع‌آوری شده‌اند یا از شبکه‌ی بلوتوث به دست آمده‌اند. این ویژگی امکان تجزیه و تحلیل دقیق‌تر و کارآمدتر داده‌ها و سرویس‌های مبتنی بر تعاملات اجتماعی به ویژه برنامه‌های کاربردی نظیر پیشنهاد دوستی و کنترل حریم خصوصی مکان را فراهم می‌کند.

۳- مدل‌های برآورد ماتریس مبدا - مقصد

ماتریس مبدا-مقصد یکی از مهم‌ترین منابع اطلاعاتی مورد استفاده در برنامه‌ریزی و مدیریت شبکه‌های حمل‌ونقل

بوده و برآورد دقیق آن، موجبات بهینه‌سازی شبکه‌های حمل‌ونقلی را به عنوان یکی از مهم‌ترین نیازهای افراد در سفرهای روزانه‌ی آن‌ها فراهم می‌آورد و همچنین به برآورد هزینه‌های موردنیاز و برنامه‌ریزی جهت ایجاد زیرساخت‌های جدید به منظور پاسخگویی به نیازهای آینده کمک می‌کند. از اینرو از سال ۱۹۴۰ تاکنون، مدل‌های مختلفی برای برآورد ماتریس مبدا-مقصد و توزیع سفر توسط محققین پیشنهاد شده است. اولین مدل به نام مدل جاذبه^۱ توسط Zipf [۱۲] و در سال ۱۹۴۶ به منظور پیش‌بینی الگوهای حرکتی بین شهری ارائه شد. مدل جاذبه، علیرغم استفاده‌ی گسترده در پیش‌بینی الگوهای حرکتی متکی بر پارامترهایی است که برای تعیین آن‌ها، نیازمند انجام کالیبراسیون بر اساس مجموعه داده‌های واقعی می‌باشد. بنابراین، این مدل در صورت فقدان اندازه‌گیری‌های حرکتی قبلی قابل اجرا نخواهد بود. مدل‌های رتبه مبنا^۲ [۱۳] و I^۳ [۱۴] نیز مدل‌های پارامتریک دیگری هستند که جهت برآورد ماتریس مبدا-مقصد در مقیاس‌های مختلف ارائه شده‌اند. در سال‌های اخیر، به منظور حل مشکل مدل‌های پارامتریک، مدل تابشی^۴ بدون هیچ‌گونه پارامتر تعدیل‌پذیر و به منظور پیش‌بینی الگوهای حرکتی در تمام مقیاس‌ها به عنوان یک الگوی جامع توسط Simini [۱۵] ارائه شد. پس از آن، مدل PWO^۵ نیز که مانند مدل تابشی فاقد پارامتر تعدیل‌پذیر است، جهت پیش‌بینی الگوهای حرکتی در سطح درون‌شهری توسط Yan [۱۶] پیشنهاد شد. در مقایسه با مدل‌های ارائه شده، مزیت اصلی مدل‌های تابشی و PWO این است که فارغ از هر گونه پارامتر بوده و تنها اطلاعات مورد نیاز این مدل‌ها توزیع مکانی جمعیت است. این ویژگی، مدل‌ها را قادر می‌سازد تا در مناطق فاقد اطلاعات توزیع سفر نیز به طور قابل توجهی الگوهای حرکتی را پیش‌بینی نمایند. در ادامه به معرفی این مدل‌ها پرداخته می‌شود.

۳-۱-۱- مدل تابشی

در سال‌های اخیر، معرفی مدل تابشی به منظور برآورد ماتریس مبدا-مقصد، بینش جدیدی در پیشینه‌ی طولانی مدل‌سازی حرکت جمعی فراهم کرده است. این مدل که

^۱ Gravity Model

^۲ Rank-Based Model

^۳ Intervening Opportunities Model

^۴ Radiation Model

^۵ Population-Weighted Opportunities

۳-۲- مدل PWO

این مدل در سال ۲۰۱۴ به منظور پیش‌بینی الگوهای حرکتی در سطح درون شهری و بر اساس فرآیند تصمیم‌گیری احتمالی در انتخاب مقصد توسط افراد، ارائه شده است [۱۶]. بر اساس این مدل، قبل از اینکه فرد منطقه‌ای را به عنوان مقصد سفر خود انتخاب نماید، ابتدا میزان فرصت‌ها و مزایای موجود در منطقه‌ی مقصد را نسبت به سایر مناطق می‌سنجد. مکان‌هایی که دارای فرصت‌های بیشتر و در نتیجه مزایای بیشتری هستند، شانس بیشتری برای انتخاب خواهند داشت. برخلاف فرضیه‌ی مدل تابشی که در آن تنها عامل تاثیرگذار در تصمیم‌گیری افراد برای سفر به یک مقصد میزان جذابیت مکان‌های نزدیک‌تر است، در مدل PWO با توجه به مقدار بالای تحرک در شهر، منطقه‌ی انتخابی فرد وسیع‌تر شده تا جایی که کل شهر را در بر می‌گیرد. همچنین در این مدل با الهام از مدل تابشی، با فرض اینکه توزیع جمعیت قابل دسترسی است، تعداد فرصت‌های یک مکان یا جذابیت آن متناسب با جمعیت آن مکان در نظر گرفته شده است. در این مدل فرض شده است که جاذبه‌ی مقصد به صورت معکوس متناسب با S_{ji} یعنی جمعیت در دایره‌ای به مرکز مکان j به شعاع فاصله بین دو مکان i و j (فاصله‌ی بین مبدا و مقصد) منهای یک مقدار تصحیح متنمایی کننده $(1/M)$ می‌باشد:

$$A_j = o_j \left(\frac{1}{S_{ji}} - \frac{1}{M} \right) \quad (2)$$

در رابطه‌ی فوق، A_j جاذبه‌ی نسبی مقصد j ، o_j کل فرصت‌های مقصد j و M کل جمعیت شهر تعریف شده است. بر این اساس، مقدار جابه‌جایی از مکان i به مکان j به صورت زیر تعریف می‌شود:

$$T_{ij} = T_i \frac{m_j \left(\frac{1}{S_{ji}} - \frac{1}{M} \right)}{\sum_{K \neq i}^N m_k \left(\frac{1}{S_{ki}} - \frac{1}{M} \right)} \quad (3)$$

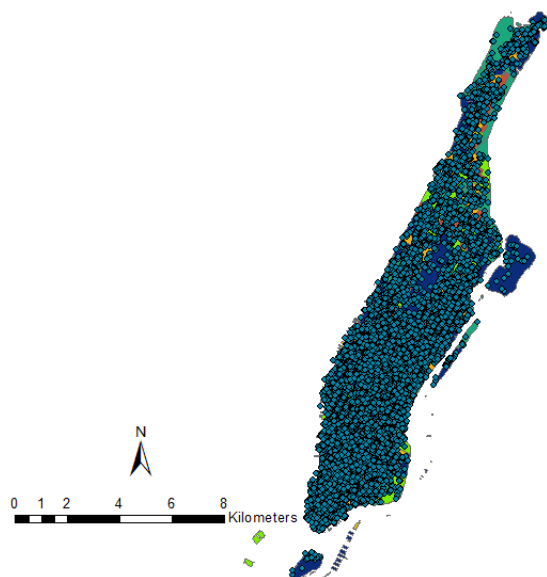
که در آن T_i تعداد سفرهای صورت گرفته از مبدا i و N تعداد مکان‌ها در شهر است. مدل ارائه شده تاثیر رقابت برای دسترسی به فرصت‌ها را در میان مقاصد مختلف منعکس می‌کند به این معنی که برای یک فرد که قصد جابه‌جایی بین مبدا i و مقصد j را دارد، با افزایش جمعیت

بر اساس یک پایه‌ی تئوری قوی ایجاد شده، قادر است الگوهای حرکتی مشاهده شده در مقیاس‌های مختلف اعم از الگوهای مهاجرت طولانی مدت تا میزان ارتباط بین مناطق مختلف را با دقت زیادی بازسازی نماید به طوریکه نتایج این مدل انطباق خوبی با الگوهای حرکتی مشاهده شده خواهد داشت. در این مدل فرض شده است که افراد، انتخاب مکان‌های نزدیک با میزان جذابیت قابل قبول را به انتخاب جذاب‌ترین پیشنهاد واقع در فواصل دورتر ترجیح می‌دهند. به عبارت دیگر از دیدگاه این مدل، عدم طی فواصل طولانی بر جذابیت مکان مقدم است به این معنی که افراد، مکان‌های نزدیک با مزایای کمتر را ترجیح می‌دهند. این مدل در سال ۲۰۱۲ توسط Simini و همکارانش با بکارگیری پارامتر جمعیت به عنوان شاخصه‌ی مکان‌ها به صورت زیر تعریف شده است [۱۵]:

$$T_{ij} = T_i \frac{m_i n_j}{(m_i + s_{ij})(m_i + n_j + s_{ij})} \quad (1)$$

که در آن، T_{ij} مقدار ارتباط بین دو مکان i و j ، T_i تعداد سفرهایی است که از مبدا i انجام شده، m_i و n_j به ترتیب مقدار جمعیت دو مکان i و j و s_{ij} مقدار جمعیت در دایره‌ای به شعاع فاصله بین دو مکان i و j و به مبدا i (بدون در نظر گرفتن جمعیت دو مکان i و j) می‌باشند.

تا کنون موفقیت این مدل در پیش‌بینی حرکت جمعی در سطح بین شهرستان و بین شهری اثبات شده اما هنوز روشن نیست که آیا این مدل می‌تواند الگوهای حرکتی درون‌شهری را نیز به خوبی پیش‌بینی نماید یا خیر [۱۷]. به ویژه، از آنجا که تعیین توزیع جمعیت در مناطق شهری به دلیل تحرک بالا امری دشوار می‌نماید، بر مقدار این ابهام افزوده می‌شود. علاوه بر این، از آنجا که افراد، اغلب برای اهداف مختلف (به عنوان مثال: رفتن به محل کار، بازدید دوستان خود و رفتن به خرید) به طور مکرر در سطح شهر جابه‌جا می‌شوند، استفاده از جمعیت ساکن به منظور مدل‌سازی حرکت‌های فردی، امری غیرمنطقی است. در مقایسه با جمعیت ساکن، استفاده از جمعیت متوسط روزانه در هر منطقه شهری، امری معقول‌تر برای تعیین تحرک شهری می‌باشد چرا که رفتارهای حرکتی معمول روزانه را منعکس کرده و یک رابطه بین میزان سفر فرد و نوع منطقه ایجاد می‌کند.



شکل ۱- توزیع مکانی داده‌های نقطه-مکان بر روی بخش منتهن

۴-۱- پالایش داده‌ها و استخراج دنباله‌های حرکتی

از آنجا که داده‌های نقطه-مکان توسط کاربران تولید شده و هیچ کنترلی بر روی آن‌ها وجود ندارد، ظهور داده‌های نامعتبر، امری اجتناب‌ناپذیر بوده و ضروریست که جهت جلوگیری از کاهش کارایی داده‌ها در استخراج الگوهای حرکتی، داده‌های نامعتبر شناسایی و از سایر داده‌ها حذف شوند. از سوی دیگر بازه‌های زمانی کاملاً متغیر بین داده‌های نقطه-مکان باعث دشواری شناسایی سفرهای انجام شده می‌شود، از اینرو نیاز به پالایش سفرها نیز احساس می‌گردد. در این بخش، امر پالایش داده‌ها در دو مرحله (۱) پالایش داده‌های نقطه-مکان و (۲) پالایش سفرها، صورت گرفته که مرحله‌ی دوم پس از استخراج دنباله‌های حرکتی انجام می‌شود.

۴-۱-۱- پالایش داده‌های نقطه-مکان

(۱) حذف داده‌های نقطه-مکان تکراری: برخی از کاربران به محض ورود یا پس از رسیدن به مکان مورد نظر خود، ورود خود را چند بار پشت سرهم اعلام می‌کنند که این اتفاق می‌تواند به واسطه‌ی اعلام نظرات مختلف توسط کاربران در یک مکان خاص رخ دهد.

(۲) حذف کاربرانی که تنها یک بار اعلام ورود کرده‌اند: به علت محدودیت بازه‌ی زمانی داده‌های تحقیق، ممکن است کاربرانی با تعداد کم اطلاعات نقطه-

بین این دو مکان، فرصت‌های موجود نیز افزایش یافته و احتمال سفر فرد به مکان ز کمتر خواهد شد.

۴- منطقه‌ی مورد مطالعه و آماده‌سازی داده‌های مکانی

در این تحقیق، بخش منتهن که یکی از پنج بخش شهر نیویورک می‌باشد، به عنوان محدوده‌ی مورد مطالعه انتخاب شده است. جمعیت بخش منتهن در ماه جولای سال ۲۰۱۴، طبق برآورد اداره آمار ایالات متحده حدود ۱/۶۳۶۳ میلیون نفر و مساحت آن حدود ۸۷/۴۶ کیلومتر مربع می‌باشد [۱۸]. همچنین، داده‌های نقطه-مکان مورد استفاده جهت استخراج الگوهای حرکتی جمعی و شناسایی جوامع شهری از داده‌های سایت Foursquare جمع‌آوری شده‌اند. این سایت یکی از معروف‌ترین شبکه‌های اجتماعی مکان مبناست که ۳۱٪ از کاربران تلفن همراه فعال در شبکه‌های اجتماعی از آن استفاده می‌کنند. این سایت تا ماه اوت سال ۲۰۱۵ بیش از ۵۰ میلیون کاربر فعال ماهانه داشته و حدود ۷ بلیون داده‌ی نقطه-مکان در آن به اشتراک گذاشته شده است. از آنجایی که واسطه برنامه‌نویسی وب سایت Foursquare برای دسترسی به داده‌ها با محدودیت روبه‌روست، لازم است برای دسترسی به داده‌های این شبکه از کانال دیگری استفاده شود. استخراج پیغام‌های ارسالی به وب‌سایت Twitter یکی از این راه‌هاست. در این مرحله، داده‌های مربوط به محدوده‌ی مورد مطالعه از داده‌های اصلی استخراج شده که نتیجه‌ی آن ۱۰۹۲۱۴ داده‌ی نقطه-مکان مربوط به ۱۰۸۳ کاربر در طول ۱۰ ماه (از ۱۲ آوریل سال ۲۰۱۲ تا ۱۶ فوریه سال ۲۰۱۳) می‌باشد.^۱ شکل ۱ توزیع مکانی داده‌های نقطه-مکان را بر روی منطقه‌ی مورد مطالعه نشان می‌دهد.

^۱ <https://sites.google.com/site/yangdingqi/home/foursquare-dataset>

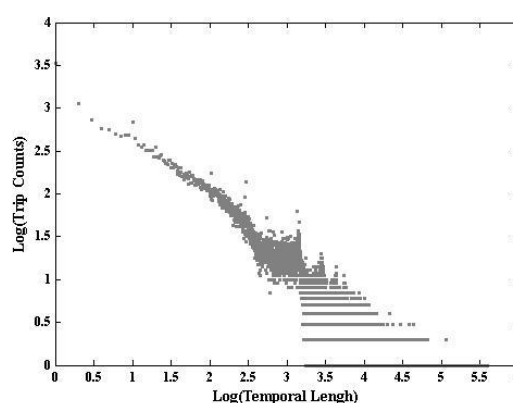
مکان وجود داشته باشد به طوریکه امکان استخراج دنباله‌ی حرکتی از داده‌های مربوط به آن‌ها وجود نداشته و بنابراین باید از سایر داده‌ها حذف شوند.

۴-۱-۲- استخراج دنباله‌های حرکتی

در این مرحله، ابتدا داده‌های نقطه-مکان پالایش شده برای هر کاربر بر حسب زمان مرتب می‌شوند. سپس هر دو داده‌ی نقطه-مکان متوالی مربوط به هر کاربر به عنوان دنباله‌ی حرکتی وی در نظر گرفته شده که می‌توان آنرا به صورت $u_k = \{ \langle venue_1, T_1 \rangle \langle venue_2, T_2 \rangle, \dots, \langle venue_n, T_n \rangle \}$ نشان داد که در آن n تعداد داده‌های نقطه-مکان کاربر k و $venue_i$ مکان بازدید شده در زمان T_i می‌باشد. برای تمام سفرها اطلاعاتی نظیر شناسه‌ی کاربر، مختصات جغرافیایی مکان مبدأ، مختصات جغرافیایی مکان مقصد، زمان و سرعت سفر محاسبه می‌شوند.

۴-۱-۳- پالایش سفرها

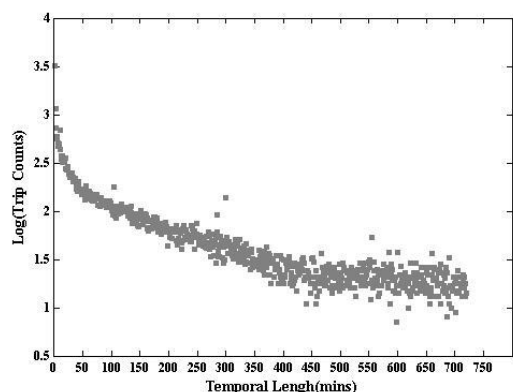
به منظور سنجش اعتبار سفرها نیاز به تعریف معیارهایی است که توسط آن‌ها سفرهای نامعتبر شناسایی شده و از سایر سفرها حذف شوند. در این تحقیق دو معیار فاصله‌ی زمانی و سرعت سفرها برای انجام این امر در نظر گرفته شده است. به منظور تعیین معیار فاصله زمانی و تعیین حد بالا و حد پایین برای فاصله‌ی زمانی ابتدا نمودار توزیع فاصله‌ی زمانی سفرها رسم می‌شود (شکل ۲).



شکل ۲- توزیع فاصله‌ی زمانی کل سفرهای استخراج شده بر اساس داده‌های نقطه-مکان

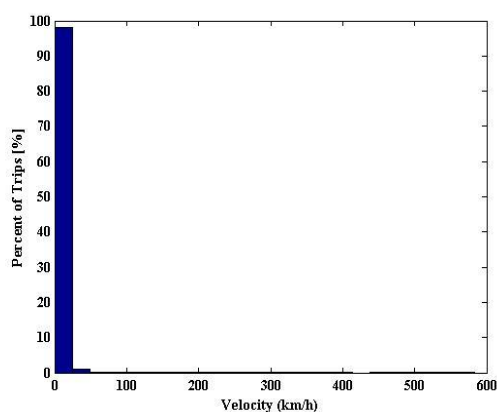
همانطور که در شکل ۲ مشاهده می‌شود تعدادی نقطه‌ی اوج سبب ایجاد توزیع غیریکنواخت فاصله‌ی زمانی شده‌اند. بنابراین نیاز است که جهت دسترسی به توزیعی

یکنواخت، یک بازه برای فاصله‌ی زمانی سفرها در نظر گرفته شود. برای این منظور توزیع فاصله‌ی زمانی برای سفرهایی که فاصله‌ی زمانی آن‌ها بین ۰ تا ۱۲ است، رسم می‌شود (شکل ۳).



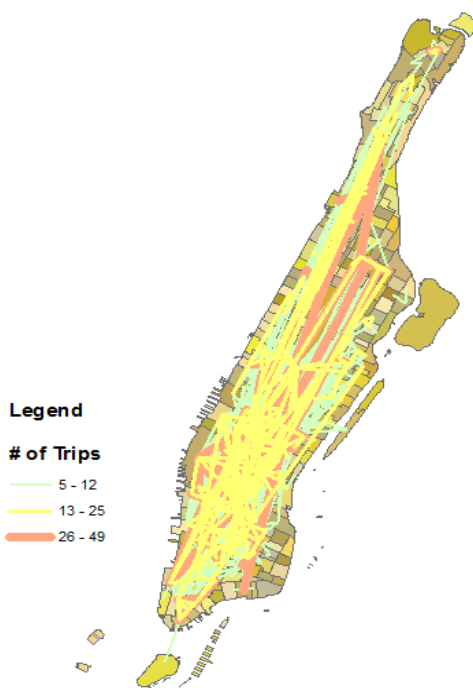
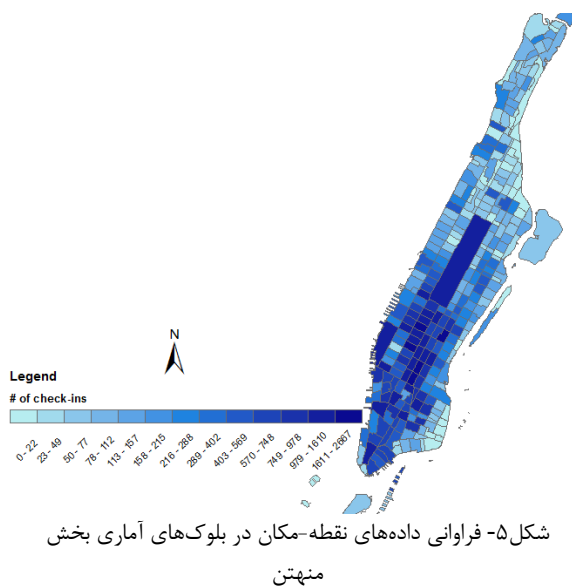
شکل ۳- توزیع فاصله‌ی زمانی سفرها با بازه‌ی زمانی کمتر از ۱۲ ساعت

با توجه به شکل ۳، می‌توان حد پایین و بالای سفرها را ۱ دقیقه و ۱۲ ساعت در نظر گرفت. بر این اساس سفرهایی که فاصله‌ی زمانی آن‌ها کمتر از ۱ دقیقه و بیشتر از ۱۲ ساعت است شناسایی و حذف می‌شوند. سفرهای بسیار کوتاه (با فاصله‌ی زمانی کمتر از ۱ دقیقه) نامعتبر هستند و باید از سایر سفرها حذف شوند. اگر فاصله‌ی زمانی بین اعلام ورود قبلی و بعدی بیشتر از ۱۲ ساعت باشد، به این معنی است که به احتمال زیاد در این بین تعدادی از سفرها اعلام نشده‌اند، بنابراین این سفرها نمی‌توانند یک دنباله‌ی حرکتی صحیح را نشان دهند. پس از انجام این مرحله تعداد سفرها به ۴۶۸۰۵ سفر می‌رسد. به منظور تعیین معیار سرعت جهت حذف سفرهای نامعتبر ابتدا هیستوگرام سرعت سفرها رسم می‌شود (شکل ۴).



شکل ۴- هیستوگرام سرعت سفرها

مورد مطالعه و شکل ۶ نقشه‌ی جریان حرکتی حاصل از داده‌های نقطه-مکان را نشان می‌دهد.



۶- مدل‌سازی و استخراج میزان ارتباط بین رئوس گراف ارتباطی

به منظور استخراج میزان ارتباطات بین بخش‌های مختلف منطقه‌ی مورد مطالعه، با وجود آنکه می‌توان از تعداد سفرها برای مشخص نمودن میزان ارتباط بین دو بلوک استفاده کرد، اما به دلیل محدودیت داده‌ها و همچنین

همانگونه که در هیستوگرام سرعت سفرها مشاهده می‌شود، سرعت حدود ۹۹٪ سفرها کمتر از ۱۰۰ کیلومتر بر ساعت می‌باشد و تعداد کمی از سفرها دارای سرعت بالاتر از ۲۰۰ کیلومتر می‌باشند. سرعت‌های بالاتر از ۲۰۰ کیلومتر بر ساعت در سفرهای درون شهری غیر منطقی است چرا که اگر سرعت سفری بیشتر از مقدار مذکور باشد، به این معنی است که کاربر با سرعتی بالاتر از اتوبوس، مترو، خودرو و ... سفر کرده است. بنابراین این سفرها نامعتبر بوده و از سایر سفرها حذف می‌شوند. پس از انجام این مرحله تعداد داده‌های نقطه-مکان به ۶۹۶۷۵، سفرها به ۴۶۷۳۶ و کاربران به ۹۸۱ می‌رسد.

۵- سلول‌بندی منطقه و نگاشت داده‌ها بر روی نقشه با هدف ساخت گراف ارتباطی

در این تحقیق به دلیل بررسی جابه‌جایی جمعیت در سطح درون‌شهری و همچنین به منظور سازگاری بین داده‌های ارزیابی و الگوهای حرکتی پیش‌بینی شده، جهت سلول‌بندی منطقه از بلوک‌های آماری استفاده شده است. رای این منظور از بلوک‌های آماری^۱ سال ۲۰۱۰ شهر نیویورک که توسط اداره آمار ایالات متحده تهیه شده‌اند، استفاده می‌شود [۱۹]. تعداد این بلوک‌ها که سرتاسر بخش منهتن را پوشانده است به تعداد ۲۸۸ بلوک می‌رسد. با فرض $L_u = (l_u^1, l_u^2, \dots)$ به عنوان دنباله‌ی حرکتی پالایش شده مربوط به کاربر u و انتخاب بلوک‌های آماری به عنوان قدرت تفکیک مکانی برای برآورد جریان حرکتی؛ لازم است با تحلیل مکانی نقطه در پلیگون، دنباله‌ی حرکتی به فرم $Z_u = (z_u^1, z_u^2, \dots)$ که نشان دهنده‌ی حرکت کاربر در مقیاس بین بلوک‌هاست، تبدیل شود. هر دو z متوالی در یک دنباله‌ی حرکتی تشکیل دهنده‌ی یک سفر شهری هستند که به صورت $\text{trip}(u, O, D, t)$ تعریف شده و دارای مشخصات کاربر، بلوک مبدأ، بلوک مقصد و فاصله‌ی زمانی بین مبدأ و مقصد می‌باشند. پس از سلول‌بندی منطقه با نگاشت داده‌ها بر روی نقشه، گراف ارتباطی بین هر کدام از سلول‌ها به عنوان رئوس گراف که توسط یال‌های ارتباطی به هم متصلند، ساخته می‌شود. شکل ۵ فراوانی داده‌های نقطه-مکان را در هر کدام از بلوک‌های آماری منطقه‌ی

^۱ Census Tracts

جهت افزایش دقت نتایج، نیاز است که از روش‌های مدل‌سازی جابه‌جایی استفاده شود. همانطور که قبلاً ذکر شد، با توجه به اینکه دو مدل تابشی و PWO فاقد پارامتر کالیبراسیون بوده و به همین دلیل نیازمند داده‌های مشاهداتی ترافیک نمی‌باشند، در این تحقیق جهت برآورد ماتریس مبدا-مقصد از این دو مدل استفاده شده است. از سوی دیگر، از آنجا که با وجود پیشینه‌ی طولانی در مدل‌سازی رفتار حرکتی افراد، همچنان فقدان مدلی دقیق با نیاز به اطلاعات اندک ورودی برای پیش‌بینی الگوهای حرکتی در مقیاس درون شهری احساس می‌شود، مدل PWO به منظور برآورد ماتریس مبدا-مقصد، صرفاً در سطح درون شهری ارائه شده است. مدل تابشی نیز تاکنون در پیش‌بینی حرکت جمعی در سطح بین شهرستان و بین شهری موفق بوده است اما توانایی این مدل در پیش‌بینی الگوهای حرکتی درون شهری در هاله‌ای از ابهام قرار دارد. بنابراین به منظور سنجش توانایی این مدل در برآورد ماتریس مبدا-مقصد در مقیاس درون شهری، مدل تابشی نیز مورد استفاده قرار می‌گیرد.

طبق تعریف مدل‌های PWO و تابشی، پارامترهای تعیین‌کننده جهت مدل‌سازی میزان جابه‌جایی بین دو مکان در این دو مدل، میزان جذابیت مقصد و میزان پتانسیل مبدا برای سفر می‌باشد. در تحقیقات انجام شده تاکنون [۱۶] و [۱۵]، به دلیل محدودیت داده و همچنین سادگی کار، تنها از توزیع جمعیت به عنوان اطلاعات ورودی استفاده شده است. در این تحقیق سعی شده است که با استفاده از داده‌های شبکه‌های اجتماعی مکان مبدا، این دو پارامتر به طور بهینه و موثر تعریف گردد و عملکرد این دو مدل با استفاده از اطلاعات استخراجی از این داده‌ها آزموده شود.

از جمله اطلاعات قابل استخراج از داده‌های شبکه‌های اجتماعی مکان مبدا برای هر مکان مبدا و مقصد عبارتند از:

- ۱) تعداد داده‌های نقطه-مکان که در واقع دفعات حضور کاربران در هر محدوده‌ی جغرافیایی را نشان می‌دهد. با استفاده از الگوریتم نقطه در پلیگون می‌توان، تعداد داده‌های نگاشت شده داخل هر محدوده‌ی جغرافیایی بر روی نقشه را محاسبه کرد.

- ۲) تعداد محل‌هایی که کاربران در آن مکان‌ها حضور خود را ثبت کرده‌اند. پس از تعیین تعداد داده‌های نقطه-مکان در هر محدوده، می‌توان بر اساس شناسه و نام

مکان‌ها، تعداد مکان‌های منحصر به فرد داخل هر محدوده را تعیین کرد.

۳) تعداد کاربرانی که در یک مکان خاص یا محدوده‌ی جغرافیایی حضور داشته‌اند. با استفاده از تعداد داده‌های تعیین شده در هر محدوده، بر اساس شناسه‌ی کاربران، تعداد کاربران منحصر به فرد در هر محدوده محاسبه می‌شود.

۴) تعداد سفرها بین هر دو محدوده‌ی جغرافیایی. با استفاده از دنباله‌های حرکتی استخراج شده از داده‌های نقطه-مکان کاربران، مجموع سفرها بین هر دو مکان مبدا و مقصد محاسبه می‌شود.

به منظور کشف مدل بهینه، اطلاعات حاصل از داده‌های مکان مبدا به عنوان پارامترهای دو مدل در چهار روش مختلف در نظر گرفته شده‌اند که در ادامه به توضیح این چهار روش برای هر مدل پرداخته می‌شود.

۶-۱- مدل تابشی

با توجه به رابطه‌ی ریاضی مدل تابشی در (۱)، ضروریست که پارامترهای T_i ، m_i و n_j به عنوان اطلاعات ورودی مورد نیاز این مدل تعیین شوند. در ادامه به توضیح چگونگی تعیین پارامترها در هر روش پرداخته می‌شود.

روش اول: در این روش از توزیع مکانی جمعیت به عنوان اطلاعات ورودی استفاده شده است تا عملکرد این مدل بر مبنای تعریف پارامترها در تحقیقات پیشین سنجیده شود. پارامترهای تعریف شده در این روش عبارتند از:

T_i : تعداد سفرهای صورت گرفته از مبدا i که از داده‌های نقطه-مکان کاربران قابل استخراج است. پس از استخراج دنباله‌های حرکتی کاربران، در هر دنباله، داده‌های نقطه-مکان ابتدایی و انتهایی به عنوان نقاط مبدا و مقصد سفر در نظر گرفته می‌شوند. سپس با استفاده از تحلیل مکانی نقطه در پلیگون نقاط مبدا، تعداد داده‌های نقطه-مکان که به عنوان مبدا سفر در بلوک i قرار گرفته‌اند، محاسبه می‌شوند.

m_i : جمعیت بلوک مبدا i که بر اساس داده‌های آماری قابل دسترس است و می‌توان آن را با p_i نشان داد.

n_j : جمعیت بلوک مقصد j که بر اساس داده‌های آماری قابل دسترس است و می‌توان آن را با p_j نشان داد.

S_{ij} : تعداد کل جمعیت در بلوک‌هایی که فاصله‌ی آن‌ها تا مبدا i کمتر از فاصله‌ی بین مبدا و مقصد i و z است. برای تعیین مقدار این پارامتر برای هر مبدا و مقصد i و z ، دایره‌ای به مرکز i و به شعاعی برابر فاصله‌ی مرکز هندسی مناطق i و z ترسیم و مجموع جمعیت بلوک‌هایی که در محدوده‌ی دایره‌ی ترسیمی قرار گرفته‌اند، محاسبه می‌شود که می‌توان آن را با p_{ij} نشان داد.

روش دوم: از آنجا که تعداد داده‌های نقطه-مکان کاربران در هر مکان با جمعیت پویای آن متناسب است، می‌توان به جای استفاده از جمعیت ساکن، از توزیع مکانی داده‌های نقطه-مکان استفاده کرد. از سوی دیگر، با توجه به اینکه اغلب افراد در محل‌های مورد علاقه‌ی خود اقدام به اعلام ورود می‌کنند، داده‌های نقطه-مکان می‌تواند به عنوان فرصت‌های مقصد و همچنین فرصت‌های رخ داده در طول سفر نیز در نظر گرفته شود. بنابراین در این روش از داده‌های نقطه-مکان کاربران به جای جمعیت مبدا و مقصد استفاده می‌شود. پارامترهای تعریف شده در این روش عبارتند از:

T_i : مانند روش اول محاسبه می‌شود.

m_i : تعداد داده‌های نقطه-مکان در بلوک مبدا i که با استفاده از تحلیل نقطه در پلیگون داده‌ها قابل دسترس است و می‌توان آن را با c_i نشان داد.

n_j : تعداد داده‌های نقطه-مکان در بلوک مقصد z که با استفاده از تحلیل نقطه در پلیگون داده‌ها قابل دسترس است و می‌توان آن را با c_j نشان داد.

S_{ij} : تعداد کل داده‌های نقطه-مکان در بلوک‌هایی که فاصله‌ی آن‌ها تا مبدا i کمتر از فاصله‌ی بین مبدا و مقصد i و z است. برای تعیین مقدار این پارامتر برای هر مبدا و مقصد i و z ، ابتدا فاصله‌ی مرکز ثقل داده‌های نقطه-مکان بین هر دو بلوک محاسبه شده و سپس دایره‌ای به مرکز i و به شعاعی برابر فاصله‌ی محاسبه شده بین بلوک‌های i و z ترسیم و مجموع داده‌های نقطه-مکانی که در محدوده‌ی دایره‌ی ترسیمی قرار گرفته‌اند، محاسبه می‌شود که می‌توان آن را با c_{ij} نشان داد.

روش سوم: در این روش از تعداد کاربران برای تعریف پتانسیل شروع سفر از یک منطقه و از تعداد مکان‌های جذاب برای تعریف میزان فرصت‌های منطقه استفاده شده است. پارامترهای تعریف شده در این روش عبارتند از:

T_i : مانند روش اول محاسبه می‌شود.

m_i : تعداد کاربران در بلوک مبدا i که با استفاده از تحلیل نقطه در پلیگون داده‌ها و سپس استخراج کاربران منحصر به فرد بر اساس شناسه‌ی آن‌ها قابل محاسبه است و می‌توان آن را با u_i نشان داد.

n_j : تعداد مکان‌های جذاب در بلوک مقصد z که با استفاده از تحلیل مکانی نقطه در پلیگون داده‌ها و سپس استخراج مکان‌ها بر اساس شناسه‌ی آن‌ها قابل تعیین است و می‌توان آن را با v_j نشان داد.

S_{ij} : تعداد کل مکان‌های جذاب در بلوک‌هایی که فاصله‌ی آن‌ها تا مبدا i کمتر از فاصله‌ی بین مبدا و مقصد i و z است. برای تعیین مقدار این پارامتر برای هر مبدا و مقصد i و z ، ابتدا فاصله‌ی مرکز ثقل داده‌های نقطه-مکان بین هر دو بلوک محاسبه شده و سپس دایره‌ای به مرکز i و به شعاعی برابر فاصله‌ی محاسبه شده بین بلوک‌های i و z ترسیم و مجموع مکان‌های جذابی که در محدوده‌ی دایره‌ی ترسیمی قرار گرفته‌اند، تعیین می‌شود که می‌توان آن را با v_{ij} نشان داد.

روش چهارم: فرض این روش بر این اساس است که تعداد سفرهای استخراجی از داده‌های نقطه-مکان بین دو منطقه‌ی i و z می‌تواند نشان دهنده‌ی پتانسیل منطقه‌ی i برای انجام سفر باشد. همچنین تعداد سفرهایی که به یک منطقه ختم شده است، می‌تواند نشانگر میزان فرصت‌ها و جذابیت آن منطقه برای سفر باشد. بر این اساس پارامترهای تعریف شده در این روش عبارتند از:

T_i : مانند روش اول محاسبه می‌شود.

m_i : تعداد سفرها بین دو مکان مبدا و مقصد که با استفاده از دنباله‌های حرکتی استخراج شده از داده‌های نقطه-مکان کاربران و محاسبه‌ی مجموع سفرها بین دو مکان محاسبه شده است و می‌توان آن را با t_{ij} نشان داد.

n_j : تعداد سفرهایی که بر اساس داده‌های دنباله‌های حرکتی کاربران به منطقه‌ی z ختم شده است که می‌توان آن را با T_j نشان داد.

S_{ij} : تعداد کل سفرهای انجام شده بین مبدا i و مکان‌هایی که فاصله‌ی آن‌ها تا مبدا i کمتر از فاصله‌ی بین مبدا و مقصد i و z است که می‌توان آن را با T_{ij} نشان داد.

جدول ۱ بیانگر چگونگی تعریف متغیرهای هر کدام از چهار روش مذکور است.

جدول ۱- مقادیر اطلاعات ورودی مدل تابشی در روش‌های مختلف

پارامترهای مدل تابشی	روش اول	روش دوم	روش سوم	روش چهارم
T_i	T_i	T_i	T_i	T_i
m_i	p_i	c_i	u_i	t_{ij}
n_j	p_j	c_j	v_j	T_j
S_{ij}	p_{ij}	c_{ij}	v_{ij}	T_{ij}

۶-۲- مدل PWO

با توجه به رابطه‌ی ریاضی مدل PWO در (۳)، ضروریست که پارامترهای T_i ، m_j و S_{ji} به عنوان اطلاعات ورودی مورد نیاز این مدل تعیین شوند. برای این مدل نیز مشابه مدل تابشی چهار روش در نظر گرفته شده که در ادامه به توضیح چگونگی تعیین پارامترها در هر روش پرداخته می‌شود.

روش اول: در این روش از توزیع مکانی جمعیت به عنوان اطلاعات ورودی استفاده شده است تا عملکرد این مدل بر مبنای تعریف پارامترها در تحقیقات پیشین سنجیده شود. پارامترهای تعریف شده در این روش عبارتند از:

T_i : تعداد سفرهای صورت گرفته از مبدا i که از داده‌های نقطه-مکان کاربران قابل استخراج است. پس از استخراج دنباله‌های حرکتی کاربران، در هر دنباله، داده‌های نقطه-مکان ابتدایی و انتهایی به عنوان نقاط مبدا و مقصد سفر در نظر گرفته می‌شوند. سپس با استفاده از تحلیل مکانی نقطه در پلیگون نقاط مبدا، تعداد داده‌های نقطه-مکان که به عنوان مبدا سفر در بلوک i قرار گرفته‌اند، محاسبه می‌شوند.

m_j : جمعیت بلوک مقصد j که بر اساس داده‌های آماری قابل دسترس است و می‌توان آن را با p_j نشان داد. S_{ji} : تعداد کل جمعیت در بلوک‌هایی که فاصله‌ی آن‌ها تا مقصد j کمتر از فاصله‌ی بین مبدا و مقصد i و j است. برای تعیین مقدار این پارامتر برای هر مقصد و مبدا j و i ، دایره‌ای به مرکز j و به شعاعی برابر فاصله‌ی مرکز هندسی مناطق j و i ترسیم و مجموع جمعیت بلوک‌هایی که در محدوده‌ی دایره‌ی ترسیمی قرار گرفته‌اند، محاسبه می‌شود که می‌توان آن را با p_{ji} نشان داد.

M : تعداد کل جمعیت منطقه‌ی مورد مطالعه که بر اساس داده‌های آماری تعیین می‌شود و می‌توان آن را با P نشان داد.

روش دوم: در این روش نیز مانند روش دوم در مدل تابشی به جای استفاده از جمعیت، از توزیع مکانی داده‌های نقطه-مکان کاربران استفاده می‌شود. پارامترهای تعریف شده در این روش عبارتند از:

T_i : مانند روش اول محاسبه می‌شود. m_j : تعداد داده‌های نقطه-مکان در بلوک مقصد j که با استفاده از تحلیل نقطه در پلیگون داده‌ها قابل محاسبه بوده و می‌توان آن را با c_j نشان داد.

S_{ji} : تعداد کل داده‌های نقطه-مکان در بلوک‌هایی که فاصله‌ی آن‌ها تا مقصد j کمتر از فاصله‌ی بین مبدا و مقصد i و j است. برای تعیین مقدار این پارامتر برای هر مقصد و مبدا j و i ، ابتدا فاصله‌ی مرکز ثقل داده‌های نقطه-مکان بین هر دو بلوک محاسبه شده و سپس دایره‌ای به مرکز j و به شعاعی برابر فاصله‌ی محاسبه شده بین مناطق j و i ترسیم و مجموع داده‌های نقطه-مکانی که در محدوده‌ی دایره‌ی ترسیمی قرار گرفته‌اند، محاسبه می‌شود که می‌توان آن را با c_{ji} نشان داد.

M : تعداد کل داده‌های نقطه-مکان کاربران در محدوده‌ی منطقه‌ی مورد مطالعه که می‌توان آن را با C نشان داد.

روش سوم: در این روش از تعداد مکان‌های جذاب برای تعریف میزان فرصت‌های هر بلوک استفاده شده است. پارامترهای تعریف شده در این روش عبارتند از:

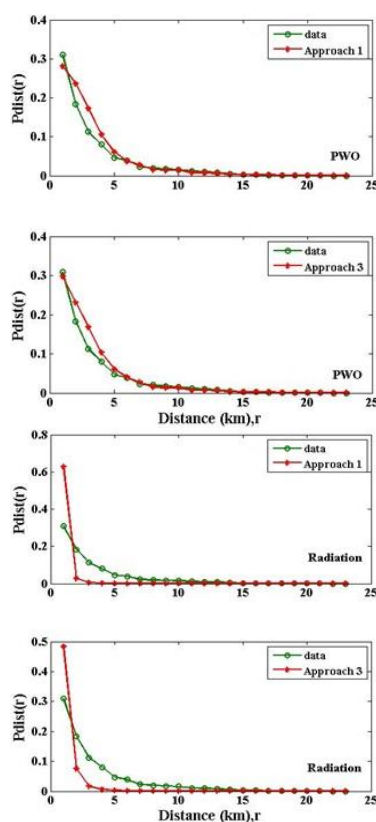
T_i : مانند روش اول محاسبه می‌شود. m_j : تعداد مکان‌های جذاب در بلوک مقصد j که با استفاده از تحلیل مکانی نقطه در پلیگون داده‌ها و سپس استخراج محل‌ها بر اساس شناسه‌ی آن‌ها قابل دسترس است و می‌توان آن را با v_j نشان داد.

S_{ji} : تعداد کل مکان‌های جذاب در بلوک‌هایی که فاصله‌ی آن‌ها تا مقصد j کمتر از فاصله‌ی بین مبدا و مقصد i و j است. برای تعیین مقدار این پارامتر برای هر مقصد و مبدا j و i ، ابتدا فاصله‌ی مرکز ثقل داده‌های نقطه-مکان بین هر دو بلوک محاسبه شده و سپس دایره‌ای به مرکز j و به شعاعی برابر فاصله‌ی محاسبه شده بین مناطق j و i ترسیم و مجموع مکان‌های جذابی که در محدوده‌ی دایره‌ی ترسیمی قرار گرفته‌اند، تعیین می‌شود که می‌توان آن را با v_{ji} نشان داد.

منهتن ارائه می‌دهد^۱. در نهایت، ماتریس مبدا-مقصد برآورد شده توسط دو مدل در هر روش با استفاده از معیارهای مختلف: (۱) توزیع فاصله‌ی سفر، (۲) احتمال سفر بر اساس جمعیت مقصد و (۳) توزیع تعداد سفر در مقایسه با داده‌های ارزیابی سفر آزموده می‌شوند [۱۶]. در ادامه به بررسی نتایج ارزیابی این معیارها پرداخته می‌شود.

۷-۱- توزیع فاصله‌ی سفر

مقایسه‌ی توزیع فاصله‌ی سفر به عنوان یک ویژگی آماری مهم می‌تواند میزان تطابق کلی رفتار حرکتی در دو مجموعه داده را نشان دهد. از نمودار توزیع فاصله‌ی سفرهای واقعی می‌توان به این نکته پی برد که با افزایش فاصله بین دو مکان مبدا و مقصد، احتمال سفر بین این دو مکان کمتر می‌شود. میزان مطابقت چگونگی تاثیر افزایش فاصله بر کاهش احتمال سفر بین داده‌های مشاهداتی و مدل‌سازی شده می‌تواند نشانگر میزان صحت مدل‌سازی باشد. نمودارهای شکل ۷ نشان دهنده‌ی مقایسه‌ی بین هر کدام از روش‌های طرح شده در بخش ۶ می‌باشد.



M : تعداد کل مکان‌های جذاب در محدوده‌ی منطقه‌ی مورد مطالعه که با استفاده از نام و شناسه‌ی محل‌ها قابل تعیین است و می‌توان آن را با V نشان داد.

روش چهارم: در این روش فرض شده است که تعداد سفرهایی که به یک منطقه ختم می‌شود، می‌تواند نشانگر میزان فرصت‌ها و جذابیت آن منطقه برای سفر باشد. پارامترهای تعریف شده در این روش عبارتند از: T_i : مانند روش اول محاسبه می‌شود.

m_j : تعداد سفرهایی که بر اساس داده‌های دنباله‌های حرکتی کاربران به منطقه‌ی j ختم شده است که می‌توان آن را با T_{ji} نشان داد.

S_{ji} : تعداد کل سفرهای انجام شده بین مقصد j و بلوک‌هایی که فاصله‌ی آن‌ها تا مقصد j کمتر از فاصله‌ی بین مبدا و مقصد i است که می‌توان آن را با T_{ji} نشان داد.

M : تعداد کل سفرهای انجام شده بر اساس داده‌های دنباله‌های حرکتی کاربران در محدوده‌ی منطقه مورد مطالعه که می‌توان آن را با T نشان داد. خلاصه‌ی روش‌ها در جدول ۲ قابل مشاهده می‌باشد.

جدول ۲- مقادیر اطلاعات ورودی مدل PWO در روش‌های مختلف

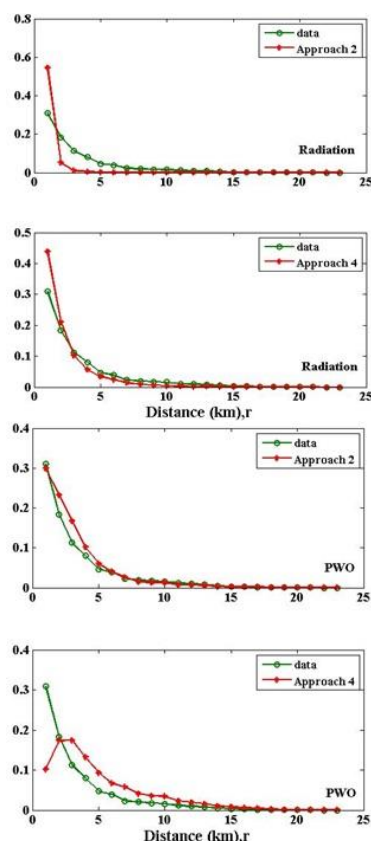
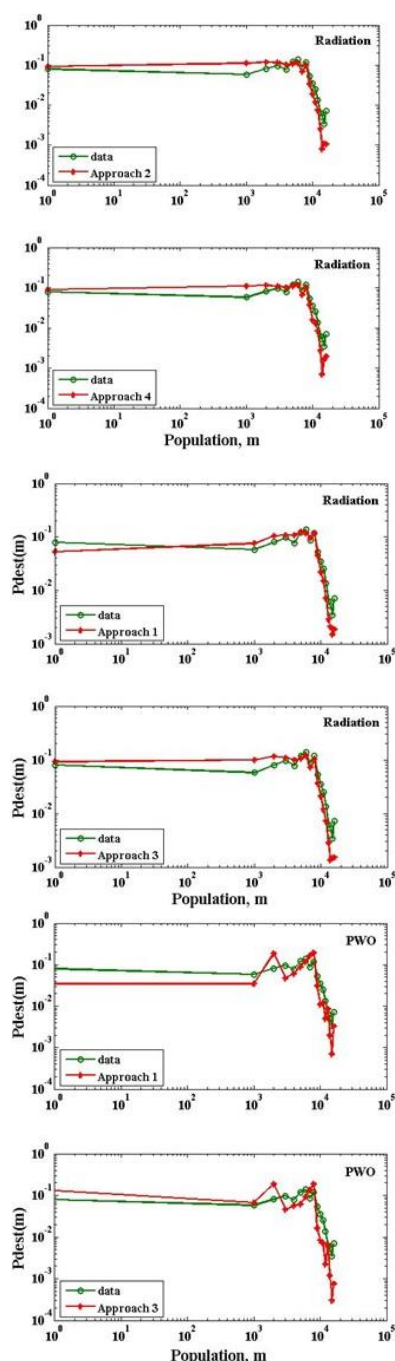
پارامترهای مدل PWO	روش اول	روش دوم	روش سوم	روش چهارم
T_i	T_i	T_i	T_i	T_i
m_j	p_j	C_j	v_j	T_j
S_{ji}	p_{ji}	C_{ji}	v_{ji}	T_{ji}
M	P	C	V	T

۷- مدل‌سازی و ارزیابی ماتریس مبدا-مقصد

در این مرحله، با استفاده از مدل‌های انتخابی که در بخش قبل به آن‌ها پرداخته شد، به مدل‌سازی ماتریس مبدا-مقصد و پیاده‌سازی روش‌های مورد نظر پرداخته می‌شود. سپس به منظور ارزیابی ماتریس مبدا-مقصد برآورد شده، داده‌های ارزیابی سفر شهر نیویورک که رفتار حرکتی ساکنین شهر نیویورک را بین بلوک‌های سرشماری نشان می‌دهد، به کار گرفته می‌شود. این داده‌ها به صورت میدانی و از ماه مه تا ماه نوامبر سال ۲۰۰۸ جمع‌آوری شده است و اطلاعات دقیقی را در مورد سفرهای تعداد ۴۰۱۴ شهروند در ۳۴۳۳ خانواده در بخش

^۱ <http://web.mta.info/mta/planning/data-nyc-travel.html#>

قادر به تضمین سازگاری بین سفرهای واقعی و مدل شده به یک مقصد خاص نیستند. در این بخش، احتمال سفر به یک مکان با جمعیت m یعنی $P_{dest}(m)$ بر اساس داده‌های مدل‌سازی شده و واقعی محاسبه و با یکدیگر مقایسه می‌شود. میزان انطباق آن‌ها می‌تواند نشانه‌ی صحت هر کدام از روش‌های مدل‌سازی باشد. نمودارهای مربوط به شکل ۸ نتایج این مقایسه را نشان می‌دهد.

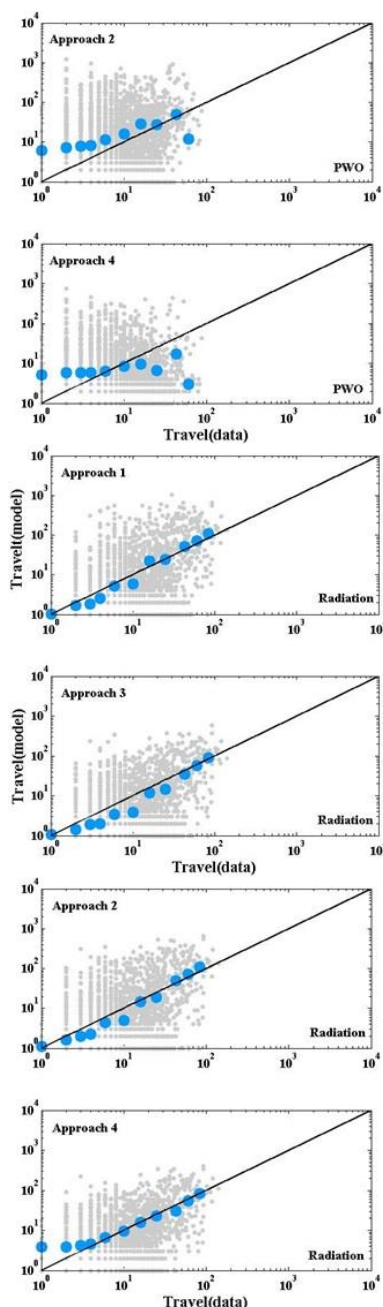


شکل ۷- توزیع فاصله‌ی سفر بر اساس الگوهای حرکتی پیش‌بینی شده توسط دو مدل تابشی و PWO در مقایسه با داده‌های ارزیابی سفر با استفاده از چهار روش مختلف. $P_{dist}(r)$ احتمال سفر بین مکان‌هایی است که در فاصله‌ی r از یکدیگر قرار گرفته‌اند.

از شکل ۷ می‌توان دریافت که توزیع فاصله‌ی سفرهای پیش‌بینی شده توسط مدل PWO به استثنای روش چهارم، در سایر روش‌ها از تطابق نسبتاً خوبی با توزیع فاصله بر اساس داده‌های ارزیابی برخوردار است. در مدل تابشی، توزیع فاصله‌ی سفرهای پیش‌بینی شده در روش چهارم بر خلاف مدل PWO، به خوبی از داده‌های ارزیابی سفر پیروی می‌کند.

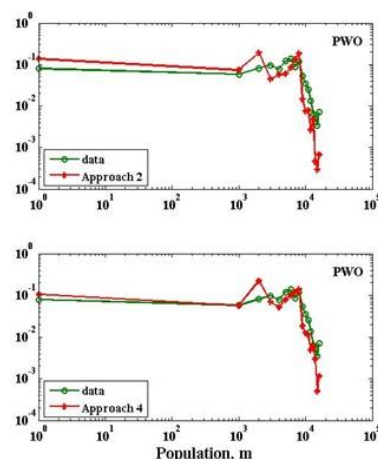
۷-۲- احتمال سفر بر اساس جمعیت مقصد

توزیع سفر بر اساس جمعیت مقصد، معیاری اساسی جهت اندازه‌گیری صحت و درستی مدل‌هایی است که دارای شرط مبدا می‌باشند (مانند مدل تابشی و مدل PWO). مدل‌های دارای شرط مبدا در واقع مدل‌هایی هستند که در آن‌ها فقط پارامتر مربوط به تعداد سفرهای انجام شده از هر مبدا قید شده است به عبارت دیگر در این مدل‌ها هیچ پارامتری مبنی بر تعداد سفرهای ختم شده به یک مقصد خاص وجود ندارد، بنابراین این مدل‌ها



شکل ۹- مقایسه‌ی سفرهای پیش‌بینی شده توسط دو مدل تابشی و PWO با استفاده از چهار روش مختلف و سفرهای مشاهداتی. نقاط خاکستری رنگ نشان دهنده‌ی رابطه‌ی بین سفرهای واقعی و سفرهای پیش‌بینی شده برای هر زوج مرتب از مناطق مبدا و مقصد می‌باشند. نقاط آبی رنگ میانگین سفرهای پیش‌بینی شده متناظر با هر مقدار از سفرهای واقعی در فواصل مساوی را نشان می‌دهد. خط مشکی رنگ $y=x$ مکان نقاطی است که در آن‌ها سفرهای واقعی با سفرهای پیش‌بینی شده برابر هستند.

همانطور که در شکل ۹ نشان داده شده است، توزیع سفرهای پیش‌بینی شده بر اساس مدل PWO نسبت به سفرهای واقعی انحراف بیشتری دارد در حالی که نتایج حاصل از مدل تابشی به ویژه روش چهارم تطابق بهتری را با سفرهای واقعی نشان می‌دهد. برای تعیین مقدار انحراف

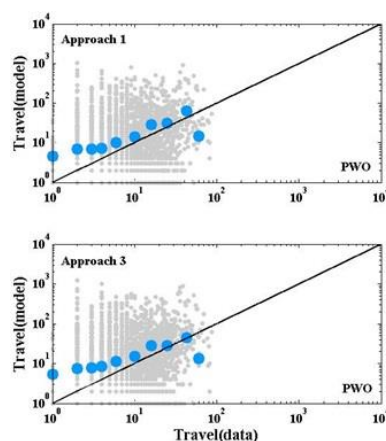


شکل ۸- مقایسه‌ی توزیع سفر بر اساس جمعیت مقصد بین دو مدل تابشی و PWO و داده‌های ارزیابی سفر در چهار روش مختلف. $Pdest(m)$ احتمال سفر به یک مکان با جمعیت m می‌باشد.

از شکل ۸ می‌توان دریافت که مدل تابشی در مقایسه با مدل PWO از توانایی بیشتری در پیش‌بینی توزیع سفرهای واقعی بر اساس جمعیت برخوردار است. در تمامی روش‌ها، الگوهای حرکتی پیش‌بینی شده توسط مدل تابشی به خوبی از سفرهای واقعی پیروی می‌کند.

۷-۳- توزیع تعداد سفر

علاوه بر دو معیار ذکر شده، به منظور ارزیابی دقیق‌تر توانایی یک مدل در پیش‌بینی الگوهای حرکتی، می‌توان از توزیع سفر بین تمام جفت مناطق مبدا و مقصد در ماتریس‌های خروجی در مقایسه با توزیع سفر بر اساس داده‌های ارزیابی استفاده کرد. در این بخش توزیع تعداد سفرهای مدل شده و واقعی بین تمام جفت مناطق مبدا و مقصد با یکدیگر مقایسه می‌شود. با مقایسه‌ی این دو می‌توان به میزان انطباق و یا انحراف سفرهای مشاهداتی و مدل شده پی برد. در شکل ۹ نتایج این مقایسه نشان داده شده است.



(مستقیم و معکوس) دو متغیر کمی است. نتایج این ارزیابی در جداول ۵ و ۶ بیان شده است.

جدول ۵- نتایج ارزیابی روش‌های مختلف پیاده شده بر اساس مدل تابشی

مشابهت کسینوسی	شاخص سورنسن	ضریب هم‌بستگی	
۰/۵۲۴۳	۰/۴۱۱۵	۰/۴۱۶۶	روش اول
۰/۵۶۶۱	۰/۴۲۵۴	۰/۴۸۱۳	روش دوم
۰/۶۱۹۶	۰/۵۵۶۷	۰/۴۵۲۰	روش سوم
۰/۶۷۰۲	۰/۶۷۳۵	۰/۵۲۴۱	روش چهارم

جدول ۶- نتایج ارزیابی روش‌های مختلف پیاده شده بر اساس مدل PWO

مشابهت کسینوسی	شاخص سورنسن	ضریب هم‌بستگی	
۰/۴۷۹۸	۰/۴۵۷۰	۰/۲۲۱۰	روش اول
۰/۴۷۸۷	۰/۴۵۲۸	۰/۲۱۸۸	روش دوم
۰/۴۷۸۰	۰/۴۵۲۲	۰/۲۱۵۴	روش سوم
۰/۴۲۰۶	۰/۴۵۸۶	۰/۰۷۷۱	روش چهارم

از مقادیر جداول فوق می‌توان به این نتیجه رسید که الگوهای حرکتی پیش‌بینی شده توسط مدل تابشی تطابق و شباهت بیشتری با داده‌های ارزیابی سفر دارند و با دقت بالاتری نسبت به مدل PWO سفرهای واقعی را پیش‌بینی می‌نمایند. علاوه بر این در میان روش‌های مختلف پیاده شده بر اساس مدل تابشی، از روش چهارم نتایج دقیق‌تری حاصل شده است. همانگونه که در بخش ۶-۱ توضیح داده شد، در این روش تعداد سفرهای استخراجی از داده‌های نقطه-مکان بین مناطق مبدا و مقصد به عنوان پتانسیل منطقه‌ی مبدا برای انجام سفر و تعداد سفرهای ختم شده به مقصد به عنوان میزان فرصت‌های آن منطقه در نظر گرفته شده است. شکل زیر نشان دهنده‌ی گراف ارتباطی از مدل تابشی توسعه یافته بر اساس داده‌های سفر استخراجی از شبکه‌ی اجتماعی مکان مبدا در محدوده‌ی تحقیق است.



شکل ۱۰- گراف ارتباطی حاصل از مدل تابشی بر اساس سفرهای استخراجی از داده‌های نقطه-مکان

الگوهای پیش‌بینی شده نسبت به سفرهای واقعی، از معیار خطای جذر میانگین مربعات استفاده شده است. این مقدار، تفاوت بین مقدار پیش‌بینی شده توسط مدل و مقدار واقعی را نشان می‌دهد. برای محاسبه‌ی این مقدار ابتدا، میانگین سفرهای پیش‌بینی شده متناظر با هر مقدار سفرهای واقعی در فواصل مساوی محاسبه شده و سپس خطای جذر میانگین مربعات برای مقادیر میانگین محاسبه شده و سفرهای واقعی تعیین می‌شود که نتایج آن در جداول ۳ و ۴ قابل مشاهده است.

جدول ۳- مقادیر خطای جذر میانگین مربعات برای روش‌های مختلف پیاده شده بر اساس مدل تابشی

مدل تابشی				
روش اول	روش دوم	روش سوم	روش چهارم	
۹/۱۷	۸/۹۴	۵/۲۳	۴/۴۶	خطای جذر میانگین مربعات

جدول ۴- مقادیر خطای جذر میانگین مربعات برای روش‌های مختلف پیاده شده بر اساس مدل تابشی

مدل PWO				
روش اول	روش دوم	روش سوم	روش چهارم	
۲۹/۷۵	۲۹/۶۵	۲۹/۳۳	۱۰/۳۲	خطای جذر میانگین مربعات

مقادیر جدول فوق نشان می‌دهد که مدل تابشی در پیش‌بینی توزیع سفرهای واقعی موفق‌تر از مدل PWO بوده و روش چهارم این مدل نسبت به سایر روش‌ها نتایج بهتری را ارائه می‌دهد.

علاوه بر مقایسه‌ی توابع توزیع مختلف که در فوق تشریح شد، برای سنجش میزان صحت نتایج مدل‌سازی از سه معیار مشابهت کسینوسی^۱، شاخص مشابهت سورنسن^۲ [۱۶] و ضریب هم‌بستگی^۳ استفاده شده است. مشابهت کسینوسی و شاخص مشابهت سورنسن ابزارهای آماری جهت تعیین میزان شباهت بین دو نمونه هستند که با استفاده از آن‌ها می‌توان به میزان صحت سفرهای پیش‌بینی شده پی برد و فهمید که آیا سفرهای واقعی توسط مدل‌های پیش‌بینی الگوهای حرکتی به درستی بازسازی شده‌اند یا خیر. ضریب هم‌بستگی نیز ابزاری آماری برای تعیین هم‌بستگی، شدت و نوع رابطه‌ی

^۱ Cosine Similarity

^۲ Sørensen Similarity Index

^۳ Correlation Coefficient

۸- نتیجه گیری

سطح شهر بوده و این امکان را فراهم می آورند تا با انجام تحلیل های مکانی، الگوهای حرکتی افراد در مناطق شهری مدل سازی شود. علاوه بر این، نتایج ارزیابی ماتریس مبدا-مقصد مدل شده نشان می دهد که اگر از اطلاعات مناسبی جهت پیاده سازی مدل تابشی استفاده شود، این مدل در پیش بینی الگوهای حرکتی در سطح درون شهری مدل موافقی است. از آنجا که داده های نقطه-مکان کاربران در مناطق مختلف شهر می تواند با جمعیت پویای آن مناطق متناسب باشد، بنابراین استفاده از این داده ها در مدل تابشی جهت مدل سازی الگوهای حرکتی درون شهری امری معقول و منطقی است، چرا که رفتارهای حرکتی معمول روزانه را منعکس می کند. عملکرد خوب این مدل با استفاده از داده های توزیع سفر استخراج شده از داده های نقطه-مکان به عنوان اطلاعات ورودی در روش چهارم موید این موضوع می باشد.

در این تحقیق تلاش شد که با توسعه ی مدل های برآورد ماتریس مبدا-مقصد به منظور استفاده از داده های مکان مبنا به عنوان پارامتر ورودی این مدل ها، الگوهای حرکتی جمعی شهروندان شناسایی و ماتریس مبدا-مقصد بین مناطق مختلف شهری بر اساس داده های یک شبکه ی اجتماعی مکان مبنا مدل سازی شود. نتایج ارزیابی ماتریس مبدا-مقصد مدل شده با استفاده از مدل تابشی نشان می دهد که سفرهای پیش بینی شده حدود ۷۰٪ سفرهای واقعی را بازسازی می نماید. بنابراین می توان به این نتیجه رسید که داده های حاصل از شبکه های اجتماعی مکان مبنا از پتانسیل بالایی جهت شناسایی رفتار حرکتی شهروندان و مدل سازی حرکت جمعیت پویای شهری برخوردارند. این داده های ارزشمند حاوی اطلاعات زیادی در خصوص نحوه ی فعالیت افراد و تعاملات مکانی آن ها در

مراجع

- [1] Yang, F., Jin, P.J., Wan, X., Li, R.. and Ran, B. (2014). "Dynamic origin-destination travel demand estimation using location based social networking data." in Transportation Research Board 93rd Annual Meeting. No. 14-5509.
- [2] Gao, S., Yang, J.A., Yan, B., Hu, Y., Janowicz, K. and McKenzie, G. (2014). "Detecting Origin-Destination Mobility Flows From Geotagged Tweets in Greater Los Angeles Area." Eighth International Conference on Geographic Information Science (GIScience'14).
- [3] Jin, P.J., Yang, F., Cebelak, M., Ran, B. and Walton, C. (2013). "Urban travel demand analysis for Austin TX USA using location-based social networking data." in TRB 92nd Annual Meeting Compendium of Papers.
- [4] Jin, P., Cebelak, M., Yang, F., Zhang, J., Walton, C. and Ran, B. (2014). "Location-Based Social Networking Data: Exploration into Use of Doubly Constrained Gravity Model for Origin-Destination Estimation." Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board. Vol. 2430. PP. 72-82.
- [5] Iqbal, M.S., Choudhury, C.F., Wang, P. and González, M.C. (2014). "Development of origin-destination matrices using mobile phone call data." Transportation Research Part C: Emerging Technologies. Vol. 40, PP. 63-74.
- [6] Karimi, H.A., Zimmerman, B., Ozcelik, A. and Roongpiboonsopit, D. (2009). "SoNavNet: a framework for social navigation networks." in Proceedings of the 2009 International Workshop on Location Based Social Networks. PP. 81-87.
- [7] Liu, Y., Liu, X., Gao, S., Gong, L., Kang, C., Zhi, Y., et al. (2015). "Social Sensing: A New Approach to Understanding Our Socioeconomic Environments." Annals of the Association of American Geographers. Vol. 105, No. 3, PP.512-530.
- [8] Gao, H. and Liu, H. (2014). "Data analysis on location-based social networks." in Mobile social networking, ed: Springer. PP. 165-194
- [9] TechCrunch. Google Latitude Locates The Check-In. Available at: <http://techcrunch.com/2011/02/01/google-latitude-check-in/>.
- [10] Yelp. About Yelp. Available at: <http://www.yelp-press.com/phoenix.zhtml?c=250809&p=irol-press>
- [11] Digital Statistics, Gadgets and FUN. By the Numbers: 17 Important foursquare States. Available at: <http://expandedramblings.com/index.php/by-the-numbers-interesting-foursquare-user-stats/>.

- [12] Zipf, G.K. (1946). "The P1 P2/D hypothesis: On the intercity movement of persons." American sociological review. Vol. 11, No. 6, PP. 677-686.
- [13] Noulas, A., Scellato, S., Lambiotte, R., Pontil, M., and Mascolo, C. (2012). "A tale of many cities: universal patterns in human urban mobility." PloS one. Vol. 7, No. 5, p. e37027.
- [14] Stouffer, S.A. (1940). "Intervening opportunities: a theory relating mobility and distance." American sociological review. Vol. 5, No. 6, PP. 845-867.
- [15] Simini, F., González, M.C., Maritan, A., and Barabási, A.-L. (2012). "A universal model for mobility and migration patterns," Nature, Vol. 484, No. 7392. PP. 96-100.
- [16] Yan, X.Y., Zhao, C., Fan, Y., Di, Z., Wang, and W.X. (2014). "Universal predictability of mobility patterns in cities," Journal of The Royal Society Interface. Vol. 11, No. 100, p. 20140834.
- [17] Liang, X., Zhao, J., Dong, L., and Xu, K. (2013). "Unraveling the origin of exponential law in intra-urban human mobility," Scientific reports. Vol. 3.
- [18] U.S. Census Bureau. Available at: <http://www.census.gov/>.
- [19] NYC. Available at: http://www.nyc.gov/html/dcp/html/bytes/districts_download_metadata.shtml.