۱- چکیده

در این تحقیق به بررسی الگوهای سفر مسافران، ناحیه بندی مناطق شهری و محاسبه ماتریس OD (مبدا - مقصد) با روش های تحلیل داده برای ایستگاه‌های مترو و اتوبوس شهر اصفهان می‌پردازیم. اطلاعات و داده های در دسترس شامل شناسه مسافر، ایستگاه ورودی و روز و ساعت ورود مسافر به این ایستگاه‌ها می باشد. برای محاسبه ماتریس OD ایستگاه‌ها، دو معیار فراوانی ایستگاه مقصد احتمالی و فاصله زمانی بین دو ایستگاه مبدا و مقصد در نظر گرفته شده است. به طور دقیق تر، هر چه فراوانی ایستگاه مقصد بیشتر باشد و فاصله بیشتری از ایستگاه مبدا داشته باشد، با احتمال بیشتری به عنوان مقصد مسافر در نظر گرفته می شود. علاوه بر این، با مشاهده الگوی ایستگاه هایی که یک مسافر درطول بازه زمانی یکروزه به آن‌ها وارد شده است، می توان ایستگاه‌های متوالی را با توجه به جهت حرکت وسیله به عنوان مبدا و مقصد یکدیگر در نظر گرفت. به اینصورت برای هر مبدا یک توزیع احتمال روی ایستگاه‌های مقصد ممکن بدست آمده و پیش بینی ماتریس OD ایستگاه‌ها براساس این توزیع تعیین گردید. سپس در فاز دوم با استفاده از اطلاعات ورودی ایستگاه‌ها و فاصله زمانی آن‌ها، با کمک الگوریتم خوشه‌بندی طیفی به خوشه بندی ایستگاه‌ها می‌پردازیم. نهایتاً با استفاده از خوشه‌بندی بدست آمده و ماتریس OD ایستگاه‌ها، ماتریس OD نواحی حاصل می‌شود.

۲- مقدمه

حمل‌ونقل عمومی یکی از عوامل اساسی برای تسهیل حرکت و جابه‌جایی جمعیت در شهرها و مناطق شلوغ است. در این راستا، سیستم مترو به‌عنوان یکی از اصلی‌ترین و پرکاربردترین وسایل حمل‌ونقل عمومی، نقش بسیار مهمی را در ارائه خدمات به شهروندان و کاهش ترافیک شهری دارد. برای بهبود عملکرد و بهره‌وری سیستم مترو، نیاز است تا مدیران و برنامه‌ریزان حمل‌ونقل اطلاعات دقیقی درباره الگوهای سفر مسافران و نیازهای حمل‌ونقل داشته باشند.

در این راستا، ماتریس OD (منبع - مقصد) به‌عنوان یک ابزار مهم در برنامه‌ریزی و مدیریت حمل‌ونقل به کار گرفته می‌شود. ماتریس OD جریان سفرهای مسافران بین مناطق مختلف شهر یا منطقه را نشان می‌دهد و با تحلیل این جریان‌ها، الگوهای سفر و ترافیک مسافران قابل‌شناسایی و تحلیل می‌شوند. این اطلاعات به مسئولان حمل‌ونقل کمک می‌کند تا برنامه‌ریزی بهتری برای سیستم حمل‌ونقل عمومی انجام دهند و عملکرد آن را بهبود بخشند.

در این گزارش، به بررسی الگوی مسافران برای مقصد سفر آنها و محاسبه ماتریس OD و همچنین ناحیه بندی مناطق شهری براساس الگوی سفر بدست آمده، پرداخته شده است.

۳- روش تحلیل

مراحل انجام و کدنویسی این روش تحلیل داده ها با استفاده از دو زبان برنامه‌نویسی R و Python انجام شده است.

۳-۱ معرفی داده‌ها

داده‌های مترو شامل ۸۱۴،۷۸۷ رکورد هستند. هر رکورد دارای چهار متغیر است که شامل شناسه مسافر، گیت ورودی، تاریخ و ساعت ورود است. این اطلاعات برای روزهای مشخص شده در بازه زمانی از ۲۳ شهریور ۱۳۹۸ تا ۲۸ شهریور ۱۳۹۸ ثبت شده است.

زمان ثبت شده برای هر مسافر بر حسب ثانیه است که برای تبدیل آن به ساعت و دقیقه به روش زیر عمل می‌شود:

به طور مثال عدد ۶۲۲۱۵ را بر ۶۰ تقسیم کرده، در این صورت عدد به دقیقه تبدیل می‌شود، سپس عدد حاصل را دوباره بر ۶۰ تقسیم کرده و عدد حاصل نمایانگر ساعت است. همچنین باقی مانده این تقسیم نمایانگر دقیقه است. بنابراین، عدد ۶۲۲۱۵ معادل با ساعت ۱۷:۱۶ است.

کمترین عدد در مجموعه داده ها عدد ۱۹۳۵۹ که ساعت ۵:۲۲ صبح را نشان می‌دهد و بیشترین عدد ۷۹۲۸۸ که ساعت ۲۲:۰۰ را نشان می‌دهد. تایم کاری مترو از ساعت ۵ صبح تا ۱۰ شب می‌باشد.

همچنین برای اتوبوس رکوردهای شده هر کدام دارای مانند دارای پنج متغیر هستند که شامل شناسه مسافر، خط اتوبوس،تاریخ و ساعت و نام ایستگاه است. این اطلاعات برای روزهای مشخص شده در بازه زمانی از ۲۳ شهریور ۱۳۹۸ تا ۲۵ شهریور ۱۳۹۸ نیز می‌باشد.

متاسفانه با توجه به اینکه تناظر بین ایستگاه‌های اتوبوس و کد معرف آن‌ها در اختیار قرار نگرفت و این اطلاعات فقط در مورد ایستگاه‌های مترو و برخی ایستگاه‌های BRT دردسترس بود، این تحلیل تنها بر روی داده‌های ایستگاه‌های مترو و خط تندرو ۱ شامل ۳۷ ایستگاه (۴۲ ایستگاه با احتساب ایستگاه‌های دوطرفه) انجام شده است. بدیهی است که تحلیل روی کل خطوط اتوبوس با استفاده از همین روش قابل انجام است و می‌تواند نتایج دقیق‌تری را دراختیار قرار دهد. اما لازم است تناظر بین ایستگاه‌ها و کد معرف در داده‌ها مشخص باشد.

۳-۲ محاسبه توزیع احتمال برای هر ایستگاه

داده‌ها شامل ۳۷ ایستگاه است، برای محاسبه ماتریس احتمال (یک ماتریس ۳۷ در ۳۷) هر کدام از ایستگاه ها از نسبت فراوانی هر ایستگاه به ایستگاه های مقصد ممکن در هر سفر و همچنین فاصله زمانی شهری بین دو ایستگاه استفاده می‌شود. مجموعه ایستگاه های مقصد ممکن برای هر ایستگاه شامل

ایستگاههای بعد از این ایستگاه با توجه به مسیر حرکت مترو یا اتوبوس می باشد.

برای محاسبه احتمال وقوع هر کدام از ایستگاه‌ها، می‌توان از نسبت فراوانی تعداد مسافران ورودی هر ایستگاه به تعداد مسافران ورودی به مجموعه ایستگاه‌های مقصد ممکن آن ایستگاه در هر سفر استفاده کرد. علاوه بر این فاصله زمانی بین دو ایستگاه نیز در نظر گرفته شده است. این روش می‌تواند به ما کمک کند تا احتمال انتخاب هر ایستگاه به عنوان ایستگاه مقصد را به‌صورت یک توزیع احتمال روی ایستگاه‌های ممکن محاسبه شود.

برای اجرای این روش، مراحل زیر انجام می‌گردد:

۱- محاسبه تعداد ایستگاه‌های ممکن برای هر مبدا: برای هر ایستگاه مبدا، تعداد ایستگاه‌های ممکن بعنوان مقصد با توجه به جهت هر ایستگاه محاسبه می‌شود.

۲- محاسبه فراوانی هر ایستگاه: برای هر ایستگاه، تعداد مسافرین ورودی به این ایستگاه محاسبه می‌شود. این عدد به عنوان یک معیار برای تعیین اهمیت و مرکزیت یک ایستگاه نسبت به بقیه ایستگاه‌ها در نظر گرفته می‌شود.

۳- درنظرگرفتن فاصله زمانی شهری: فاصله زمانی بین ایستگاه‌ها در مسیر مهم است. در واقع استفاده از مترو بین ایستگاه‌هایی که فاصله زمانی سفر شهری بین آن دو بیشتر باشد، با احتمال بیشتری صورت می‌گیرد. می‌توان احتمال وقوع هر ایستگاه را با درنظرگرفتن فاصله زمانی شهری بین ایستگاه‌ها تعیین کرد که در این حالت فاصله بین دو ایستگاه موردنظر بر جمع فاصله ایستگاه مبدأ به‌تمامی ایستگاه‌های ممکن تقسیم می‌شود.

با استفاده از این روش، می‌توانید احتمال وقوع هر ایستگاه را محاسبه کرد.

۴- به‌دست‌آوردن فاصله زمانی: نقشه‌های آنلاین یا مپ‌های آنلاین ابزارهایی هستند که اطلاعات جغرافیایی را به‌صورت تعاملی و قابل‌جستجو در اختیار کاربران قرار می‌دهند. این مپ‌ها برای مشاهده و کشف مکان‌ها، مسیریابی، جستجوی مکان‌های خاص، نمایش اطلاعات جغرافیایی و بسیاری از نیازهای مکانی مورداستفاده قرار می‌گیرند. یکی از پرکاربردترین و معروف‌ترین آنها Google Maps است. این برنامه دسترسی‌های زیادی به کاربران خود ارائه می‌دهد.

جهت دسترسی به اطلاعات فاصله ترافیکی بین نقاط دلخواه با استفاده از IPها و خروجی گرفتن این اطلاعات در پایتون، می‌توان از سرویس‌های API مپ‌های آنلاین استفاده کرد. برای این کار، مراحل زیر را می‌توان دنبال کرد:

- ثبت‌نام و دریافت کلید API: ابتدا باید در سرویس مپ آنلاین موردنظر خود (مانند Google Maps) ثبت‌نام کرده و کلید API را دریافت می‌شود. این کلید API برای احراز هویت و دسترسی به امکانات سرویس استفاده می‌شود.

- نصب پکیج‌های موردنیاز: در پایتون، می‌توان با نصب پکیج‌های مربوطه می‌توان با استفاده از API مپ‌های آنلاین ارتباط برقرار کرد. برای مثال، با نصب Google Maps می‌توان از Google Maps APIها استفاده کرد.

- استفاده از API و دریافت اطلاعات: با استفاده از کلید API دریافت شده و با استفاده از توابع مربوطه پکیج مپ آنلاین، می‌توان اطلاعات فاصله ترافیکی بین دونقطه را دریافت کرد. برای مثال، با استفاده از Google Maps API، می‌توان از تابع distance_matrix برای دریافت اطلاعات فاصله ترافیکی استفاده کرد.

رابطه در نظر گرفته شده برای به‌دست‌آوردن ماتریس احتمال به شیوه زیر است:

$$P_{ij}^{t} = \alpha \left(\frac{w_j^t}{\sum w_k}\right) + (1-\alpha)\left(\frac{d_{ij}^t}{\sum d_{ik}^t}\right)$$

که در آن متغیر i نشان‌دهنده ایستگاه مبدأ و متغیر j نشان‌دهنده مقصد محتمل برای ایستگاه i است. P_{ij}^{t} احتمال سفر از مبدا i به مقصد j در زمان t را نشان می‌دهد. همچنین متغیرهای w و d به ترتیب نمایانگر فراوانی ایستگاه مقصد و همچنین فاصله زمانی سفر شهری بین مبدأ و مقصد است. جمع روی همه مقاصد امکان‌پذیر ایستگاه i انجام می‌شود. مقدار α یک هایپرپارمتر است که طبق آزمایش‌های صورت گرفته در انتخاب مدل α را ۰,۷ در نظر گرفته ایم.

۳-۳- به‌دست‌آوردن ماتریس OD ایستگاه‌ها

ماتریس OD در نظر گرفته شده یک ماتریس ۳۷در ۳۷ است. همان طور که بیان شد این ماتریس نمایانگر میزان سفر در مبدا و مقصدی مشخص است. برای ساخت این ماتریس ابتدا مقصد های هر سفر بر اساس الگوی رفتاری مسافران تخمین زده می‌شود.

با استفاده از تعداد گیت‌هایی که هر مسافر در طول روز استفاده کرده است و با درنظرگرفتن الگوی سفر، می‌توان احتمال وقوع هر ایستگاه مقصد برای سفر هر مسافر را محاسبه کرد. برای این کار، می‌توان ماتریس احتمال ایستگاه‌ها را مورد بررسی قرار گیرد و با درنظرگرفتن ایستگاه‌های ممکن برای سفر هر مسافر، احتمال مقصد را محاسبه کرد.

برای تخمین مقصدهای ممکن برای سفر هر مسافر، مراحل زیر را دنبال می‌شود:

۱. مشاهده تعداد ایستگاه هایی که هر مسافر در طول روز استفاده کرده است و تشکیل الگوی سفر: بررسی تعداد و ترتیب گیت‌هایی که هر مسافر کارت خود را زده است و تشکیل الگوی سفر او. این الگو ممکن است شامل شماره گیت‌های مورد استفاده و ترتیب آنها باشد.

۲. بررسی اینکه آیا ایستگاه دوم (بعد از ایستگاه فعلی) در ایستگاه‌های ممکن برای سفر قرار دارد: با توجه به الگوی سفر هر مسافر، بررسی می‌شود که آیا ایستگاه بعدی که مسافر در آن کارت زده است در ایستگاه‌های ممکن برای سفر او قرار دارد یا خیر. اگر گیت بعدی در ایستگاه‌های ممکن وجود داشته باشد، در اینصورت ایستگاه بعدی بعنوان مقصد قطعی ایستگاه فعلی در نظر گرفته می‌شود.

۳. در نظر گرفتن احتمال مقصدهای ممکن: اگر بعد از آخرین کارتی که مسافر زده است، در هیچ گیت دیگری کارت نزده باشد، می‌توان با در نظر گرفتن ماتریس احتمال ایستگاه‌ها، احتمال مقصد های ممکن برای سفر آخر او را محاسبه کرد.

با استفاده از این روش، می‌توانیم احتمال مقصدهای ممکن را برای سفر هر مسافر محاسبه کرد.

مجموع تمامی سفرهای انجام شده با درنظرگرفتن الگوی سفر و مقصدهای احتمالی در هر روز، درایه های ماتریس OD را تشکیل می‌دهند.

رابطه در نظر گرفته شده برای به‌دست‌آوردن درایه ij ام ماتریس مبدأ - مقصد به شیوه زیر است:

$$OD_{ij} = |A_{ij}| + |B_i|P_{ij}$$

$$S_i = \bigcup A_{ij} \bigcup B_i$$

که در این رابطه، مجموعه Si نشانگر افرادی است که وارد ایستگاه i شده‌اند. از این بین A_{ij} مسافرانی هستند که کارت بعدی را در ایستگاه j زده اند و B_i مسافرانی هستند که ایستگاه i ام آخرین ایستگاه آن‌ها در آن روز بوده است.

با توجه به روش ذکر شده در بالا، برای هر خط اتوبوس یا مترو، یک ماتریس OD متناظر وجود خواهد داشت. به عنوان مثال، برای خط ۶۹ (تندرو ۱)، یک ماتریس OD به ابعاد ۱۸ در ۱۸ در نظر گرفته می‌شود و با استفاده از این روش، ماتریس OD برای این خط ایجاد می‌شود.

با توجه به اینکه اسامی ایستگاه‌ها فقط برای ایستگاه‌های مترو و خطوط تندرو در اختیار بود، ما این تحلیل را برای خط مترو و خط ۶۹ اتوبوس انجام دادیم.

حال باید تحلیل‌ها برای هر خط به تحلیل کلی روی همه خطوط تعمیم داده شود. برای این‌کار از روش زیر استفاده کردیم:

فرض کنید خط l_1 و l_2 به ترتیب دارای ایستگاه‌های (a_i) و (b_i) باشند، همینطور فرض کنید I مجموعه ایستگاه‌های مشترک (تلاقی) بین دو خط باشد. مثلا در مورد خاص تحلیل ما، خط l_1 خط مترو و خط l_2 خط تندرو ۱ است و I ایستگاه میدان آزادی (تقاطع دو خط) می‌باشد. همچنین فرض کنید ماتریس OD برای هر کدام از دو خط را بطور جداگانه بدست آورده ایم. برای پیدا کردن ماتریس OD اجتماع این دو خط از فرمول زیر استفاده می‌کنیم.

$$OD(a_i, b_i) = \sum_I \left(\frac{OD(a_i, I)}{\sum_j OD(a_j, I)} . OD(I, b_i) + \frac{OD(I, b_i)}{\sum_j OD(I, b_j)} . OD(a_i, I) \right)$$

که جمع هایی که در مخرج هستند روی همه ایستگاه‌های مبدا و مقصد امکان‌پذیر برای ایستگاه I گرفته می‌شود. توجیه این فرمول اینست که از بین افرادی که از ایستگاه a_i به ایستگاه تقاطعی I می‌روند درصدی از آنها مسیر I به b_j را انتخاب می‌کنند و همینطور از بین افرادی که از ایستگاه I به b_j می روند، درصدی از آنها از ایستگاه a_i آمده اند.

به این صورت ماتریس OD همه ایستگاه‌های مترو و اتوبوس که در مثال ما یک ماتریس ۳۷ در ۳۷ است حاصل می‌شود.

۴- تقسیم‌بندی نواحی

در این مرحله به نحوه تقسیم بندی نواحی براساس الگوی سفر می‌پردازیم. به این منظور از یک روش بدون نظارت بنام خوشه بندی طیفی استفاده می‌کنیم. برای این منظور ابتدا یک گراف وزن‌دار می سازیم که رئوس آن ایستگاه‌های خطوط مترو و اتوبوس هستند و وزن هر یال بین دو ایستگاه W_{ij}، عکس فاصله زمانی بین این دو ایستگاه است. همچنین وزن هر راس S_i، میزان فراوانی ورودی آن ایستگاه در یک بازه زمانی مشخص است.

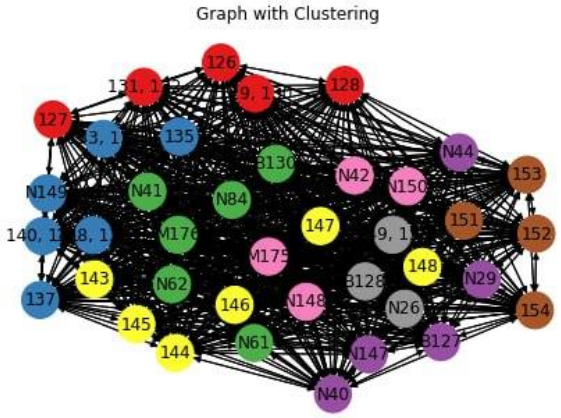
$$W_{ij} = \frac{1}{d_{ij}}, \quad S_i = no.of\ passengers\ in\ st.i$$

سپس ماتریس لاپلاسین وزن‌دار را بصورت زیر تعریف می‌کنیم:

$$L = S^{-\frac{1}{2}} (D - W) S^{-\frac{1}{2}}$$

که در آن S و D دو ماتریس قطری هستند که درایه‌های روی قطر آن‌ها به ترتیب وزن راسی و مجموع وزن یالی روی یک راس هستند.

سپس k بردار ویژه اول (کوچکتر) ماتریس L محاسبه و روی بردارهای حاصل الگوریتم kmeans اجرا می‌شود.



شکل ۱. خوشه‌بندی طیفی براساس گراف و ماتریس لاپلاسین آن

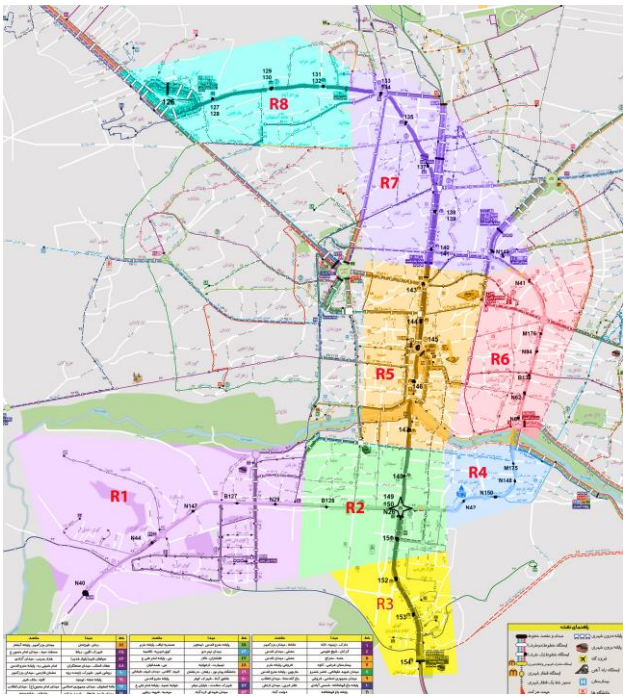
در این پژوهش ما ایستگاه‌ها را به ۸ ناحیه تقسیم کرده ایم. خروجی الگوریتم خوشه بندی طیفی در شکل ۲ قابل مشاهده است. همچنین نام ایستگاه‌های هر ناحیه در جدول ۱ ارایه شده است.

لازم به توضیح است که این تقسیم نواحی بطور کامل همه نواحی شهری را پوشش نمی‌دهد و دلیل آن اینست که تنها از ایستگاه‌های مترو و خط ۱ اتوبوس تندرو استفاده شده است. نتیجه دقیقتر مستلزم استفاده از همه خطوط اتوبوس است تا پوشش خوبی از همه نواحی شهر بدست آید که

همانطور که ذکر شد با توجه به دردسترس نبودن برچسب ایستگاه‌ها مقدور نبود.

ایستگاه‌های مترو و اتوبوس تندرو	ناحیه
N40, N44, N147, B127, N29	R1
B128, 148, 149-150-N26, 151	R2
۱۵۲، ۱۵۳، ۱۵۴	R3
N42, N150, N148, M175	R4
143, 144, 145, 146, 147	R5
N61, N62, B130, N84, M176, N41	R6
۱۳۳، ۱۳۴، ۱۳۵، ۱۳۷، ۱۳۹ ،۱۳۸، ۱۴۰،۱۴۱ N149	R7
۱۲۶، ۱۲۷-۱۲۸، ۱۳۰ ،۱۲۹، ۱۳۲ ،۱۳۱	R8

جدول ۱ خوشه‌بندی نواحی شهری براساس تقسیم ایستگاه‌ها به روش خوشه بندی طیفی.



شکل ۲. خوشه بندی نواحی شهری براساس ایستگاه‌های مترو و خط اتوبوس تندور ۱

۵- محاسبه ماتریس OD نواحی

نهایتاً ماتریس OD نواحی به سادگی از روی ماتریس OD ایستگاه‌ها بدست می‌آید. به این‌صورت که OD بین دو ناحیه بصورت جمع OD ایستگاه‌های درون آن دو ناحیه محاسبه می‌گردد.

$$OD(R_i, R_j) = \sum_{x \in R_i} \sum_{y \in R_j} OD(x, y)$$

ماتریس OD برای ۸ ناحیه بدست آمده در جدول ۲ محاسبه شده است.

۶- پیش‌بینی ماتریس OD برای آینده

پیش‌بینی ماتریس OD به معنای تخمین‌زدن تعداد سفرها بین مناطق مبدأ و مقصد در آینده است. این پیش‌بینی می‌تواند برای برنامه‌ریزی و مدیریت حمل‌ونقل بسیار مفید باشد. با داشتن این اطلاعات، می‌توان ترافیک را بهبود بخشید، سیستم حمل‌ونقل را بهینه‌سازی کرد و نیازمندی‌های آتی را پیش‌بینی کرد.

برای پیش‌بینی ماتریس OD، می‌توان از روش‌های مختلفی استفاده کرد، از جمله روش‌های پایه‌ای مبتنی بر آماره‌ها و روش‌های پیشرفته‌تری مبتنی بر مدل‌های ریاضی و هوش مصنوعی. این روش‌ها می‌توانند شامل روش‌های زمانی، مکانی، احتمالی و غیره باشند.

یکی از روش‌های مورداستفاده برای پیش‌بینی این موضوع استفاده از مدلی به نام HW-DMD است که برای پیش‌بینی ماتریس‌های OD در مدت‌زمان‌های کوتاه معرفی می‌شود.

DMD یک مدل خطی برای تجزیه‌وتحلیل داده‌های زمانی است که از تجزیه‌وتحلیل ارتباطات میان اجزای مختلف زمانی استفاده می‌کند. برای این مدل باید داده‌های هر زمان وجود داشته باشد؛ اما در سیستم‌های واقعی مانند مترو وجود داده‌ها در هر زمان غیرممکن است که برای رفع این مشکل نسبت وزنی به داده‌های گذشته داده می‌شود و با گذر زمان وزن‌دهی بر روی داده‌های قدمی کمتر و کمتر می‌شود و داده‌های جدید جایگزین آن می‌شود.

مدل HW-DMD برای پیش‌بینی ماتریس OD در آینده استفاده می‌شود.

ترافیک مسافران در سیستم متروی از اهمیت بسیاری برخوردار است، به‌ویژه در پیش‌بینی ترافیک مسافران بین جفت‌های مبدأ و مقصد (ماتریس OD) در مدت‌زمان کوتاه. بااین‌حال، پیش‌بینی این ماتریس‌ها به دلیل ویژگی‌هایی مانند بعد بالا، پراکنده بودن، نویزی بودن و تغییرات زمانی داده‌ها بسیار دشوار است.

یک مدل تجزیه‌وتحلیل پویای وزن‌دار درجه بالا (HW-DMD) برای پیش‌بینی ماتریس OD مترو در مدت‌زمان کوتاه ارائه داده می‌شود. در این مدل، از تجزیه مقدار تکین (SVD) برای استخراج یک تقریب کم رتبه از داده‌های OD استفاده می‌شود و سپس یک مدل برداری خود رگرسیون با رتبه کم و درجه بالا برای پیش‌بینی ایجاد می‌شود.

اما ماتریس‌های OD مترو در زمان واقعی قابل‌مشاهده نیستند، به‌منظور بهبود پیش‌بینی، ویژگی تکامل زمانی سیستم‌های مترو را در نظر گرفته و با استفاده از کاهش نمایی وزن‌ها برای داده‌های قدیمی، دقت پیش‌بینی را افزایش داده می‌شود.

علاوه بر این، یک الگوریتم به‌روزرسانی آنلاین مناسب برای HW-DMD توسعه داده شده است. این الگوریتم به ما این امکان را می‌دهد که روزانه ضرایب مدل را بدون نیاز به ذخیره‌سازی داده‌های تاریخی یا آموزش مجدد به‌روز کنیم. آزمایش‌های انجام شده بر روی داده‌های یک سیستم متروی بزرگ نشان می‌دهند که مدل HW-DMD پیشنهادی، عملکرد بهتری نسبت به مدل‌های پایه در پیش‌بینی همچنین ماتریس‌های OD و جریان سواری دارد. همچنین، الگوریتم به‌روزرسانی آنلاین نشان می‌دهد که در طول زمان دقت یکنواختی را حفظ می‌کند و هزینه کمی در حفظ یک مدل HW-DMD دارد. [1]

۷- نتیجه‌گیری

باتوجه‌به تحلیل انجام شده، می‌توان نتیجه گرفت که دو عامل فراوانی و فاصله زمانی دو عامل مهمی هستند که بر روی سفرهای داخل شهری تأثیرگذار هستند. به طور مثال هرچه فاصله ترافیکی بین ایستگاه‌های مترو در شهر بیشتر باشد، احتمال استفاده بیشتر مسافران از مترو و اتوبوس‌های تندرو نیز افزایش می‌یابد. این می‌تواند به دلیل کاهش زمان سفر و عدم وابستگی به ترافیک جاده‌ای باشد. همچنین، فراوانی ایستگاه‌های مترو نیز تأثیر مستقیم در تصمیم‌گیری مسافران برای استفاده از مترو دارد. هرچه تعداد ایستگاه‌های مترو و اتوبوس در شهر بیشتر باشد، احتمال استفاده بیشتر افراد از وسایل حمل‌ونقل عمومی نیز افزایش می‌یابد؛ بنابراین، برنامه‌ریزی برای کاهش فاصله ترافیکی بین ایستگاه‌ها و افزایش تعداد ایستگاه‌های مترو می‌تواند بهبود قابل‌توجهی در استفاده افراد از مترو و کاهش ترافیک جاده‌ای به همراه داشته باشد. با ایجاد ایستگاه‌های مترو در مراکز پرتردد شهری، افراد ترجیح می‌دهند از مترو استفاده کنند به‌جای رانندگی با خودروهای شخصی، این باعث می‌شود که تعداد خودروهایی که در جاده‌ها حرکت می‌کنند کاهش یابد و در نتیجه ترافیک شهری کاهش پیدا کند. همچنین، با افزایش استفاده از وسایل حمل‌ونقل عمومی ، آلودگی هوا و مصرف سوخت نیز کاهش می‌یابد که این امر بهبود کیفیت زندگی در شهر را به ارمغان می‌آورد.

ماتریس OD حاصل از وسایل حمل‌ونقل عمومی، بر اساس دو عامل فراوانی ایستگاه‌ها و فاصله ترافیکی آنها، محاسبه شده است. آزمایش‌های انجام شده نشان می‌دهد که فراوانی هر ایستگاه تأثیر بیشتری در پیش‌بینی مقصد مسافران دارد، بنابراین ضریب متغیر فراوانی در این مدل بیشتر از ضریب متغیر فاصله زمانی در نظر گرفته می‌شود.

۸- مراجع:

[1] Zhanhong Cheng, Martin Trepanier, Lijun Sun (2022) Real-time forecasting of metro origin-destination matrices with high-order weighted dynamic mode decomposition. https://arxiv.org/abs/2101.00466

[2] Yixuan Yang; Shiyao Zhang; Chenhan Zhang; James J.Q. Yu.(2021) Origin-Destination Matrix Prediction via Hexagon-based Generated Graph. IEEE International Intelligent Transportation Systems Conference (ITSC)

[3] Seyed omid Hasanpour jesri, Mohsen Akbarpour Shirazi (2021) Predicting Dynamic Origin-Destination Matrix by Time Series Pattern Recognition. International Journal of Transportation Engineering

[4] Teresa Pamuła, Renata Żochowska (2023) Estimation and prediction of the OD matrix in uncongested urban road network based on traffic flows using deep learning. Engineering Applications of Artificial Intelligence

[5] Von Luxburg, U. (2007). A tutorial on spectral clustering. *Statistics and computing*, *17*, 395-416.

Regions	R1	R2	R3	R4	R5	R6	R7	R8
R1	1904	3426	7032	2279	4900	5021	1720	816
R2	729	728	1764	1580	2097	3645	1307	684
R3	43	578	183	82	2405	180	673	346
R4	986	662	1445	471	1007	2671	713	168
R5	0	1808	1266	2377	2800	5177	3165	1351
R6	4114	2284	3196	1392	2228	3602	1910	385
R7	624	1397	1257	1241	2079	2304	1062	955
R8	103	422	546	480	761	1044	891	131

جدول ۲ ماتریس OD نواحی