

تخمین پویای ماتریس مبدا-مقصد کریدورهای بزرگراهی با استفاده از احجام ترافیکی

افشین شریعت مهیمنی^۱، محمدرضا رافعی^۲

۱- دانشیار دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه علم و صنعت ایران (Shariat@iust.ac.ir)

۲- کارشناس ارشد برنامه ریزی حمل و نقل دانشگاه علم و صنعت ایران (mrezarafeei@yahoo.com)

چکیده

ماتریس پویای مبدا-مقصد، شامل تقاضای متغیر با زمان شبکه‌های شهری است که ورودی بسیار مهمی برای سیستم‌های ITS و مدل‌های تخصیص دینامیکی است. برداشت مستقیم این ماتریس نیازمند صرف هزینه و وقت بسیار زیادی است و به همین دلیل در سالیان گذشته مدل‌های بسیار زیادی به منظور تخمین این ماتریس با استفاده از احجام ترافیکی ارائه شده است. به طور کلی مدل‌های ارائه شده در زمینه تخمین پویای ماتریس را می‌توان به دو گروه بر مبنای تخصیص و بدون تخصیص تقسیم‌بندی نمود. با توجه به این که به منظور استفاده از مدل‌های بر مبنای تخصیص به ماتریس اولیه دقیق و مدل تخصیص دینامیکی کالیبره شده احتیاج است و حصول این دو شرط در شهر تهران در حال حاضر امکان پذیر نیست، در این مقاله از مدل‌های بدون تخصیص استفاده شده است. در مدل ارائه شده با استفاده از احجام شمارش شده‌ی ورودی‌ها و خروجی‌ها و مقاطع اصلی یک کریدور بزرگراهی و همچنین توزیع زمان سفر حرکت، و با به کارگیری الگوریتم فیلتر کالمن متوالی نسبت‌های مبدا-مقصد تخمین زده می‌شود. به منظور ارزیابی مدل، ابتدا با استفاده از یک شبکه آزمایشی و داده‌های فرضی میزان دقت مدل، مورد بررسی قرار گرفت و نتایج مدل ارائه شده در این مقاله با مطالعات گذشته مقایسه گردید که نتایج نشان‌دهنده بهبود دقت ماتریس تخمینی در شبکه‌های شلوغ، نسبت به مدل‌های پیشین است.

واژگان کلیدی: تخمین ماتریس، احجام ترافیکی، کریدور بزرگراهی.

۱- مقدمه

در نواحی شهری، تراکم ترافیکی یکی از معضلات بزرگ شبکه‌های حمل‌ونقلی است که سالانه سبب مصرف میلیون‌ها لیتر سوخت و هدر رفتن زمان استفاده‌کنندگان می‌شود. با توجه به هزینه‌های بالای ساخت معابر جدید و کمبود فضا در شبکه‌های شهری، عمدتاً افزایش ظرفیت معابر شهری اقتصادی نیست و از این رو در جوامع پیشرفته، بیشتر بر بالابردن کارایی شبکه‌های موجود تمرکز شده است. یک ماتریس پویای مبدا-مقصد، شامل تقاضای متغیر با زمان شبکه‌های شهری است و یک ورودی بسیار مهم برای سیستم‌های ITS است تا از این طریق بتوان سیاست‌های کنترل کوتاه مدت و تغییر مسیر به لحظه و ... را به کار برد. همچنین این ماتریس برای به کارگیری در ست مدل‌های تخصیص پویای ماتریس مبدا-مقصد بسیار حیاتی و مهم هستند. به طور سنتی، داده‌های مبدا-مقصد از طریق برداشت‌های میدانی به دست می‌آیند اما این روش‌ها هزینه و زمان بسیار زیادی را طلب می‌کند. این دو عامل سبب می‌شود تا برداشت‌های میدانی هر چند سال یکبار و آن هم برای یک یا چند روز خاص انجام گیرد که همین امر سبب می‌شود تا پویایی جریان ترافیک در این نوع برداشت‌ها لحاظ نشود. همین عوامل سبب شده است تا در دهه‌های اخیر مطالعات زیادی در زمینه تخمین پویای ماتریس مبدا-مقصد انجام گیرد. از آنجایی که ساده‌ترین داده‌ای که در شبکه‌های حمل‌ونقلی می‌توان برداشت نمود حجم عبوری از یک معبر است بنابراین اکثر روش‌ها و مدل‌های ارائه شده از این نوع داده‌ها به عنوان مهم‌ترین ورودی برای تخمین ماتریس استفاده می‌کنند.

۲- مروری بر ادبیات موضوع

به طور کلی در مدل‌های تخمین ماتریس مبدا-مقصد با استفاده از شمارش احجام ترافیکی، بر اساس رابطه‌ای که بین احجام مبدا-مقصد و شمارش‌های ترافیکی برقرار می‌شود اقدام به تخمین احجام یا نسبت‌های مبدا-مقصد می‌کنند. تفاوت اساسی که بین روش‌های پویا و ایستای تخمین ماتریس وجود دارد نوع برخورد با زمان در فرآیند مدل‌سازی است. در روش‌های ایستا احجام مبدا-مقصد تنها برای یک بازه تخمین زده می‌شود اما در روش‌های پویا تغییرات احجام در طول زمان مورد بررسی قرار می‌گیرد که همین عامل سبب می‌شود روش‌های پویا نتایج قابل قبول‌تری را برای مطالعات ترافیکی ارائه دهند. در یک تقسیم‌بندی کلی روش‌های تخمین پویای ماتریس مبدا-مقصد را می‌توان به دو دسته بر مبنای تخصیص و بدون تخصیص طبقه‌بندی نمود. [۵]-[۱] در مدل‌های بر مبنای تخصیص، با استفاده از یک مدل تخصیص دینامیکی، رابطه بین احجام مبدا-مقصد و احجام شمارش شده لینک‌ها تخمین زده می‌شود.

ماتریس اولیه به عنوان آغازگر فرآیند تخمین ماتریس مورد استفاده قرار می‌گیرد و به همین دلیل دقت آن می‌تواند تاثیر بسزایی در دقت ماتریس تخمینی داشته باشد. علاوه بر این، ماتریس اولیه در فرآیند تنظیم ماتریس برای پایین بردن تعداد مجهولات مسئله نیز مورد استفاده قرار می‌گیرد.

اما تفاوت اصلی بین مطالعات مختلفی که در طول سالیان گذشته برای روش‌های بر مبنای تخصیص صورت گرفته است در نوع تابع بهینه‌سازی و نوع مدل تخصیص دینامیکی است که به کار گرفته شده است. اصلی‌ترین توابعی که در مطالعات گذشته استفاده شده است مدل‌های حداقل مربعات تعمیم یافته و مدل‌های فضای حالت است.

روش‌های حداقل مربعات تعمیم یافته برای اولین بار توسط کاستا و همکاران ارائه گردید. [۶] پس از آن روش‌های حل مختلفی برای این روش ارائه گردید که از جمله آن می‌توان به روش‌های حلی که هزینه لینک‌ها معلوم است، اشاره کرد که در مطالعاتی چون کاستا و همکاران (۱۹۹۳)، بل (۱۹۹۱)، کرم و همکاران (۱۹۸۷)، کریتین و همکاران (۲۰۰۴) و دیکسون و همکاران (۲۰۰۲) به کار گرفته شد. [۱۰]-[۶] مشکل اساسی که در فرمول‌بندی این نوع مدل‌ها پابرجاست رابطه خطی است که بین احجام مبدأ-مقصد و شمارش‌های ترافیکی در نظر گرفته شده است. به عبارت دیگر، در این نوع فرمول‌بندی، وابستگی نسبت احجام لینک‌ها به تقاضای مبدأ-مقصد به طور مستقیم در فرآیند حل وارد نشده است. این وابستگی و غیرخطی بودن در میزان دقت مدل تخمین ماتریس اثر قابل ملاحظه‌ای دارد که این امر در شبکه‌های متراکم حادث است. به همین دلیل و به منظور رفع این مشکل در بسیاری از مطالعات انجام گرفته که از روش حداقل مربعات تعمیم یافته برای شبکه‌های شلوغ استفاده کرده‌اند، از چارچوب حل دو سطحی استفاده شده است که از آن جمله می‌توان به مطالعات ژو (۲۰۰۴)، توانا (۲۰۰۱)، ژو و مهم‌سنی (۲۰۰۶)، فردریکس و همکاران (۲۰۱۱) و موریکوا و همکاران اشاره نمود. [۱۴]-[۱۱]، [۵] الگوریتم حل مسائل دو سطحی، دائماً بین سطح پایین (تخصیص ترافیک) و سطح بالا (تنظیم ماتریس مبدأ-مقصد) تکرار می‌شود تا به یک جواب بهینه برسد. مشکل این چارچوب حل نیز در زمان‌بر بودن و حجم بالای محاسبات آن است که به خصوص در شبکه‌های بزرگ مشکل‌ساز است. به منظور جلوگیری از فرمول‌بندی این مسئله به صورت دو سطحی، شرالی و پارک (۲۰۰۱) [۱۵] یک مدل حداقل مربعات محدود شده ارائه دادند که در آن به جای استفاده از احجام مبدأ-مقصد از احجام متغیر با زمان مسیرها به عنوان پارامتر تصمیم‌گیری استفاده نمودند.

از جمله مزایای روش‌های بر مبنای تخصیص این است که (۱) عمدتاً ساختار نسبتاً ساده‌ای دارند (۲) برای تمامی شبکه‌ها قابل استفاده هستند (۳) به راحتی می‌توان داده‌های مختلف جمع‌آوری شده مانند داده‌های AVI را برای بالا بردن دقت مدل وارد توابع بهینه‌سازی نمود. در مقابل مشکلات و ضعف‌های این دسته از مدل‌ها این است که (۱) نتایج تخمین به مقدار بسیار زیادی به ماتریس اولیه وابسته است و از این رو ابتدا ماتریس اولیه باید دقت مناسبی داشته باشد. (۲) مدل تخصیص دینامیکی که در این نوع از مدل‌ها به کار می‌رود باید برای شبکه مورد بررسی معتبر و کالیبره شده باشد تا به خوبی بتواند رفتار مسافران و شرایط ترافیکی را نشان دهد.

اما برای رفع این دو معضل روش‌های بدون تخصیص ارائه گردید که تنها از داده‌های ورودی و خروجی شبکه برای تخمین ماتریس مبدأ-مقصد استفاده می‌کنند. هدف این گونه مدل‌ها، به دست آوردن نسبت حرکت از هر یک از مبداها به هر یک از مقاصد است. البته دو شرط مهم برای به کارگیری این روش‌ها باید تامین گردد. اولاً به منظور تخمین ماتریس با استفاده از این روش‌ها باید احجام کلیه ورودی‌ها و خروجی‌های شبکه را برداشت نمود. ثانیاً شبکه‌ای که در آن فرآیند تخمین ماتریس انجام می‌گیرد نباید دارای مسیرهای موازی بین هر یک از مبدا-مقصدها باشد که عمدتاً تقاطعات و کریدورهای بزرگراهی دارای

چنین شرایطی هستند.

ساده‌ترین حالت برای تخمین نسبت حرکت از هر یک از مبداها به هر یک از مقاصد (b_{ij}) به صورت رابطه ۱۱ است که توسط کرمر و کلر (۱۹۸۱) [۸] ارائه گردید. در این رابطه زمان سفر بین هر مبدا و هر مقصد کوچکتر از طول بازه‌های زمانی است و یا برای تمام ورودی و خروجی‌ها ثابت است که این حالت تنها در شبکه‌های کوچک مانند تقاطعات صحیح است.

$$y_j(k) = \sum_{i=0}^{j-1} b_{ij} q_i(k) \quad (1)$$

بل (۱۹۹۱) [۱۶] با اضافه نمودن یک فاکتور زمان سفر، مدل ارائه شده توسط کرمر را برای یک بزرگراه گسترش داد. البته او در مطالعه خود هیچ‌گونه توزیعی را برای زمان سفر و سایل نقلیه در نظر نگرفت. وو و چانگ (۱۹۹۴) [۱۷] علاوه بر استفاده از احجام ورودی‌ها و خروجی‌ها، از احجام مقاطع اصلی (U_i) در تشکیل معادلات استفاده نمودند تا میزان معلومات موجود را بالاتر ببرند. همچنین به منظور نمایش رابطه بین نسبت احجام OD و شمارش‌های ترافیکی و در نظر گرفتن زمان سفر در معادلات، متغیرهای جدیدی را به مسئله تخمین ماتریس اضافه نمودند. آن‌ها برای تخمین ماتریس ابتدا معادلات بالا را به صورت معادلات فضای حالت تبدیل نمودند و با استفاده از فیلتر کالمن تعمیم یافته اقدام به حل مسئله نمودند که در شبکه‌های بزرگ بسیار زمان‌بر است. لین و همکاران (۲۰۰۷) [۱۸]، به منظور محاسبه فاکتورهای زمان سفر، از توزیع نرمال استفاده کردند تا از این طریق میزان مجهولات مسئله را کاهش دهند. البته آن‌ها در مطالعات خود فرض نمودند که توزیع سرعت وسایل نقلیه در طول کریدور تغییر نمی‌کند.

از آنجایی که در حال حاضر برای شهر تهران مدل تخصیص دینامیکی کالیبره شده و معتبری موجود نیست و همچنین ماتریس تقاضای موجود چندان قابل اطمینان نیست و امکان استفاده از آن در مسائل ریزنگر وجود ندارد، عملاً استفاده از روش‌های بر مبنای تخصیص امکان‌پذیر نبوده و نتایج قابل قبولی ارائه نمی‌دهد. به همین دلیل در این مقاله از روش‌های بدون تخصیص برای تخمین ماتریس استفاده می‌شود.

۳- روش تحقیق

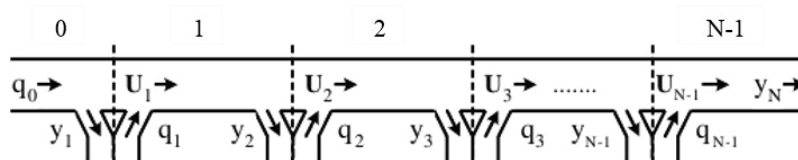
در شکل ۱ فرآیند کلی تخمین ماتریس به کار گرفته شده در این مقاله نمایش داده شده است. همانطور که در این شکل مشاهده می‌شود با انجام سه مرحله و استفاده از الگوریتم فیلتر کالمن ماتریس مورد نظر تخمین زده می‌شود که در ادامه در مورد هر یک از مراحل و الگوریتم به کار گرفته شده توضیحاتی ارائه می‌شود.



شکل ۱: فرآیند کلی تخمین پویای ماتریس مبدا-مقصد

۳-۱- فرمول بندی احجام خروجی ها و مقاطع اصلی

منظور از فرمول بندی نوشتن معادلات ریاضی است که احجام خروجی را به احجام ورودی و نسبت های حرکت از هر مبدا به هر مقصد و زمان سفر مرتبط سازد. در این راستا بزرگراهی مانند آنچه در شکل زیر نمایش داده شده است را که شامل N مقطع است در نظر بگیرید. مقاطع این بزرگراه از 0 تا $N-1$ شماره گذاری شده است.



شکل ۲: نمونه ای از یک مقطع بزرگراهی [۱۷]

متغیرهای مورد استفاده در فرمول بندی عبارتست از:

- $q_0(k)$: تعداد وسایل نقلیه ای که از بالادست محدوده مطالعاتی در بازه زمانی k وارد می شود.
- $q_i(k)$: تعداد وسایل نقلیه ای که از طریق رمپ ورودی i در بازه زمانی k وارد بزرگراه می شود.
- $y_j(k)$: تعداد وسایل نقلیه ای که از طریق رمپ خروجی j و در بازه زمانی k از بزرگراه خارج می شوند.
- $y_n(k)$: تعدادی وسایل نقلیه ای که از رویکردی اصلی انتهای بزرگراه در بازه زمانی k خارج می شوند.
- $U_l(k)$: تعداد وسایل نقلیه ای که در بازه زمانی k وارد مقطع l بزرگراه می شود. $l=1,2,\dots,N-1$
- $T_{ij}(k)$: تعداد وسایل نقلیه ای که در بازه زمانی k از طریق ورودی i وارد شده و به سمت مقصد j حرکت می کنند. به عبارت دیگر این پارامتر جریان مبدأ-مقصد وابسته به زمان را مشخص می کند. $0 \leq i < j \leq N$.
- t_0 : طول یک بازه زمانی واحد
- $t_{ij}(k)$: میانگین زمان سفر وسایل نقلیه ای که در بازه زمانی k از ورودی i به سمت خروجی j حرکت می کنند.
- $\sigma_{ij}(k)$: انحراف معیار استاندارد زمان سفر وسایل نقلیه ای که در بازه زمانی k از رمپ ورودی i به سمت رمپ خروجی j حرکت می کنند.
- $b_{ij}(k)$: نسبتی از $q_i(k)$ که در بازه زمانی k به سمت مقصد j حرکت می کنند. $0 \leq b_{ij}(k) \leq 1$.
- $\rho_{ij}^m(k)$: نسبتی از $T_{ij}(k-m)$ سفری که در بازه زمانی $k-m$ از مبدا i آغاز به حرکت می کنند و m بازه زمانی طول می کشد تا به مقصد j برسد.
- $\rho_{il}^m(k)$: نسبتی از $q_i(k-m)$ که در بازه زمانی $k-m$ از مبدا i وارد شده و m بازه زمانی طول می کشد تا از مقطع l عبور نماید.
- $\rho_{ij}^m(k)$: نسبتی از $T_{ij}(k-m)$ سفری که در بازه زمانی $k-m$ از مبدا i وارد جریان شده و قصد دارد به سمت مقصد j برود و m بازه زمانی طول می کشد تا از مقطع l عبور کند.

• M : حداکثر تعداد بازه زمانی t_0 که طول می‌کشد تا وسیله نقلیه‌ای که وارد شده از شبکه خارج شود. $M=0,1,\dots,m$. این مقدار به طول بازه زمانی t_0 و ابعاد شبکه و میزان تراکم شبکه بستگی دارد.

• i : نمایه مربوط به ورودی‌های شبکه ($i=0,1,\dots,N-1$)

• j : نمایه مربوط به خروجی‌های شبکه ($j=1,2,\dots,N$)

• l : نمایه مربوط به مقاطع اصلی شبکه ($N=1,2,\dots,N-1$)

• m : نمایه مربوط به تعداد بازه‌های زمانی سپری شده ($m=0,1,\dots,M$)

بر این مبنا معادلات ۲ تا ۵ را می‌توان استخراج نمود:

$$q_i(k) = \sum_{j=i+1}^N T_{ij}(k), \quad i=0,1,\dots,N-1 \quad (2)$$

$$T_{ij}(k) = q_i(k) b_{ij}(k), \quad 0 \leq i < j \leq N \quad (3)$$

$$0 \leq b_{ij}(k) \leq 1 \quad (4)$$

$$\sum_{j=i+1}^N b_{ij}(k) = 1, \quad i=0,1,\dots,N-1 \quad (5)$$

اما به منظور فرمول‌بندی احجام خروجی از شبکه، نکته مهمی که باید در نظر گرفت این است که تمامی احجام ورودی به شبکه در بازه زمانی k ، امکان خروج از شبکه در همان بازه زمانی را ندارند و با توجه به شرایط مختلف در یک یا چند بازه زمانی بعد، از شبکه خارج می‌شوند.

$$y_j(k) = \sum_{m=0}^M \sum_{i=0}^{j-1} T_{ij}(k-m) \rho_{ij}^m(k) \quad (6)$$

$$= \sum_{m=0}^M \sum_{i=0}^{j-1} q_i(k-m) \rho_{ij}^m(k) b_{ij}(k-m), \quad j=1,2,\dots,N$$

احجام خروجی از مقصد j در بازه زمانی k برابر با جمع نسبتی از احجام رمپ‌های ورودی قبل از آن در بازه زمانی مختلف است که این نسبت با استفاده از $\rho_{ij}^m(k)$ مشخص می‌گردد. این نسبت برای هر یک از زوج مبدأ-مقصدها و بازه‌های زمانی مختلف، متفاوت است و باید تعیین گردد.

$$0 \leq \rho_{ij}^m \leq 1, \quad 0 \leq i < j \leq N, \quad m=0,1,\dots,M \quad (7)$$

$$\sum_{m=0}^M \rho_{ij}^m(k+m) = 1, \quad 0 \leq i < j \leq N \quad (8)$$

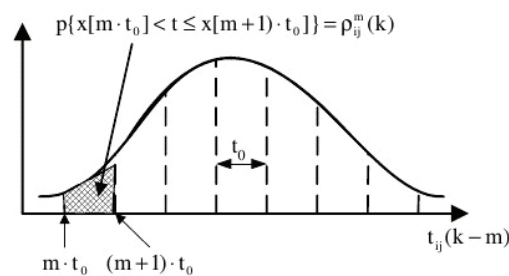
علاوه بر این در شبکه‌های متوسط و بزرگ و متراکم، احجام عبوری از جریان اصلی بزرگراه در مقاطع مختلف (U_l) را نمی‌توان مستقیماً از جمع و تفریق احجام ورودی و خروجی به دست آورد. اندازه‌گیری و برداشت $U_l(k)$ می‌تواند اطلاعات جدیدی را به سیستم معادلات ما اضافه کند و میزان معلومات ما را افزایش دهد. بر این اساس معادلات جریان رویکرد اصلی را می‌توان به صورت معادله ۹ به دست آورد.

$$U_l(k) = \sum_{m=0}^M \sum_{i=0}^{l-1} \sum_{j=l+1}^N q_i(k-m) \rho_{il}^m(k) b_{ij}(k-m) + q_l(k) \quad (9)$$

$$U_l(k) - q_l(k) = \sum_{m=0}^M \sum_{i=0}^{l-1} \sum_{j=l+1}^N q_i(k-m) \rho_{il}^m(k) b_{ij}(k-m), \quad l=1,2,\dots,N-1$$

۲-۳- تعیین توزیع زمان سفر هر یک از زوج مبدأ-مقصدها

بهترین و مناسب‌ترین راه برای تعیین پارامترهای $\rho_{ij}^m(k)$ و $\rho_{ij}^m(k)$ استفاده از داده‌های زمان سفر شبکه است. با استفاده از این داده‌ها به راحتی می‌توان نسبت‌های مورد نظر در بازه‌های زمانی مختلف را به دست آورد. فرض کنید زمان سفر و وسایل نقلیه‌ای که در بازه زمانی k از مبدأ i شروع به حرکت کرده و به سمت مقصد j می‌روند از توزیع نرمال با میانگین $t_{ij}(k)$ و انحراف معیار $\sigma_{ij}(k)$ پیروی می‌کند. همانطور که در شکل ۳ نمایش داده شده است از آن جایی که زمان سفر و وسایل نقلیه‌ی یک زوج مبدأ-مقصد که در یک بازه زمانی حرکت خود را آغاز می‌کنند از یک توزیع نرمال با پارامترهای یکسان پیروی می‌کنند بنابراین پارامتر $\rho_{ij}^m(k)$ می‌تواند با استفاده از تابع چگالی تجمعی این بازه زمانی تخمین زده شود که در معادلات ۱۰ تا ۱۲ نیز نحوه استفاده از آن عنوان شده است.



شکل ۳: نحوه تخمین پارامتر $\rho_{ij}^m(k)$ با استفاده از توزیع زمان سفر

$$\rho_{ij}^m(k) = \int_{m \cdot t_0}^{(m+1) \cdot t_0} f_{ij}(x) dx \quad (10)$$

$$\sum_{m=0}^M \rho_{ij}^m(k+m) = 1 \quad (11)$$

$$y_j(k) = \sum_{m=0}^M \sum_{i=0}^{j-1} q_i(k-m) \rho_{ij}^m b_{ij}(k-m) \quad (12)$$

$$= \sum_{m=0}^M \sum_{i=0}^{j-1} q_i(k-m) \cdot \left[\int_{m \cdot t_0}^{(m+1) \cdot t_0} f_{ij}(x) dx \right] b_{ij}(k-m), \quad 0 \leq i \leq j \leq N$$

که در این معادله $f(x)$ تابع توزیع تجمعی زمان سفر با میانگین $t_{ij}(k)$ و انحراف معیار استاندارد $\sigma_{ij}(k)$ است. بدین ترتیب با استفاده از این روابط می‌توان پارامتر $\rho_{ij}^m(k)$ را تخمین زد. اما پارامتر دیگری نیاز به محاسبه آن وجود دارد $\rho_{ij}^m(k)$ است که این پارامتر را هم می‌توان از طریق توزیع زمان سفر به دست آورد. بنابراین برای بدست آوردن در صد حجم حرکت از هر مبدأ به هر یک از مقاطع اصلی U_1 در بازه‌های زمانی مختلف

لازم است توزیع زمان سفر این حرکت‌ها به دست بیاید. بدین منظور دو رویکرد می‌تواند وجود داشته باشد. در رویکرد اول در تخمین زمان سفر از هر مبدا به مقطع اصلی U_1 ، مقصد حرکت و سایل نقلیه نیز در نظر گرفته می‌شود یعنی نسبت $\rho_{ij}^m(k)$ برای Z های مختلف بدست می‌آید که این رویکرد در مطالعات لین و همکاران [۱۸] در نظر گرفته شده است. اما در رویکرد دیگر که در این مقاله به آن پرداخته شده است زمان سفر بین مبدا i و مقطع اصلی U_1 بدون توجه به مقصد آن تعیین می‌گردد زیرا زمان سفر و سایل نقلیه به شرایط ترافیکی معبر مرتبط است و ارتباطی با مقصد و سایل نقلیه ندارد.

در مطالعه لین و همکاران [۱۸] به منظور محاسبه مقادیر $\rho_{ij}^m(k)$ برای بازه‌های زمانی مختلف فرض نمودند که توزیع سرعت حرکت و سایل نقلیه‌ای که از مبدا i حرکت خود را آغاز کرده و به سمت مقصد Z می‌روند بدون تغییر باقی می‌ماند و بر این اساس رابطه‌ی بین $t_{ij}(k)$ و $t_{ij}(k)$ برابر با نسبت فواصل در نظر گرفته شده است. اما نکته‌ای که وجود دارد این است که فرض عدم تغییر توزیع سرعت در طول شبکه برای تمام زوج مبدا-مقصدها، تنها در شبکه‌های بدون تراکم ترافیکی صادق است. اما در شبکه‌های متراکم که ممکن است وسایل نقلیه در صف قرار بگیرند، صدق نمی‌کند. بنابراین در شبکه‌های متراکم لازم است زمان سفر حرکت تا هر یک از مقاطع اصلی به طور جداگانه بدست بیاید و محاسبات عنوان شده در مطالعات لین و همکاران در شبکه‌های متراکم می‌تواند سبب بروز خطا شود.

۳-۳- ساخت مدل فضای حالت

در بسیاری از مطالعات انجام شده فرض شده است که پارامترهای تخمین پویای ماتریس مبدا-مقصد $(b_{ij}(k))$ از فرآیند گام‌های تصادفی پیروی می‌کنند [۱۹]-[۱۷]:

$$b_{ij}(k+1) = b_{ij}(k) + w_{ij}(k), \quad 0 \leq i < j \leq N \quad (13)$$

در معادله (۱۳) نسبت حرکت از مبدا i به مقصد Z در بازه زمانی $k+1$ برابر با مقدار این نسبت در بازه زمانی k به علاوه یک نویز نرمال با میانگین صفر و کواریانس مشخص در نظر گرفته شده است که این نویز همان پارامتر $w_{ij}(k)$ است. به منظور فرمول بندی الگوریتم متغیرهای زیر در نظر گرفته می‌شود:

$$b(k) = [b_{ij}(k)] \quad , \quad W(k) = [w_{ij}(k)] \quad (14)$$

هر دو متغیر $b(k)$ و $W(k)$ بردارهای ستونی با ابعاد $N(N+1)/2$ هستند که بر این اساس فرم ماتریسی معادله (۱۳) به صورت زیر نوشته می‌شود:

$$b(k+1) = b(k) + W(k) \quad (15)$$

کواریانس ماتریس $w(k)$ برابر با ماتریس قطری $D = \text{diag}[d_b, \dots, d_b]$ با ابعاد $N(N+1)/2 * N(N+1)/2$ است. با به کارگیری متغیرهای تعریف شده، معادلات ۶ و ۹ به صورت ماتریسی زیر تبدیل می‌شوند:

$$Z(k) = H(k).b(k) + e(k) \quad (16)$$

در این معادله $Z(k) = [y_1(k), y_2(k), \dots, y_N(k), U_1(k) - q_1(k), \dots, U_{N-1}(k) - q_{N-1}(k)]^T$ ماتریسی ستونی با ابعاد $2N-1$ و $H(k) = [h_{rsk}]$ ماتریسی با ابعاد $(2N-1) * N(N+1)/2$ است که اجزای آن با نسبت‌های معادل آن در معادلات ۶ و ۹ محاسبه می‌گردد. همچنین پارامتر $e(k)$ بردار ستونی نویز مشاهده با ابعاد $2N-1$ است که با استفاده از توزیع نرمالی با میانگین صفر و ماتریس کواریانسش محاسبه می‌گردد که $R = \text{Var}[e(k)] = \text{diag}[r_1, r_2, \dots, r_{2N-1}]$ ماتریس قطری مثبت قطعی^۱ با ابعاد $(2N-1) * (2N-1)$ است که اثر خطای داده‌های برداشت شده را وارد محاسبات می‌کند. با توجه به طبیعت غیرخطی معادلات عنوان شده و به خاطر بالا بردن کارایی محاسباتی، از الگوریتم فیلتر کالمن توسعه یافته متوالی استفاده گردیده است.

گام ۰: مقداردهی اولیه:

- ◆ مشخص نمودن طول لینک‌های شبکه (L_i) , $i=0, 1, \dots, N-1$
- ◆ مشخص نمودن طول هر یک از بازه‌های زمانی (t_0) و حداکثر تعداد بازه‌های زمانی مورد نیاز برای طی نمودن کل شبکه (M)
- ◆ مشخص نمودن اجزای اولیه ورودی $(q_i(m))$ برای بازه‌های زمانی $m = -M, -M+1, \dots, 0$
- ◆ مشخص نمودن زمان سفر اولیه برای بازه‌های زمانی $m = -M, -M+1, \dots, 0$
- ◆ $\text{Var}[e(k)] = \text{diag}[r_1, r_2, \dots, r_{2N-1}]$
- ◆ تعیین مقادیر اولیه برای هر یک از نسبت‌های b_{ij} و ماتریس کواریانس P_0

گام ۱: محاسبه زمان سفر میانگین

$$u_{ij}(k) = t_{ij}(k) \quad \blacklozenge$$

گام ۲: محاسبه ماتریس‌های تبدیل سازی خطی

$$H^{k-1} = [H_{rs}^{k-1}]$$

$$H_{j, Ni+j-i(i+1)/2}^k = \sum_{m=0}^M q_i(k-m) \cdot \{F_{m+1}[t_{ij}(k)] - F_m[t_{ij}(k)]\} \quad \text{برای } 0 \leq i < j \leq N$$

$$H_{N+1, Ni+j-i(i+1)/2}^k = \sum_{m=0}^M q_i(k-m) \cdot \{F_{m+1}[t_{il}(k)] - F_m[t_{il}(k)]\} \quad \text{برای } 0 \leq i < l < j \leq N$$

$[H^{k-1}] = [h_1, h_2, \dots, h_{2N-1}]^T$ که هر یک از اعضای h_i یک برداری خطی با ابعاد $N * (N+1)/2$ است.

$$Z(k) = [z_1, z_2, \dots, z_{2N-1}]^T = [y_1(k), \dots, y_N(k), U_1(k) - q_1(k), \dots, U_{N-1}(k) - q_{N-1}(k)]^T$$

گام ۳: مقداردهی اولیه فیلتر کالمن متوالی:

- ◆ $b_0 = b(k-1)$
- ◆ $P_0 = P_{k-1} + D$ که در این معادله $D = \text{diag}[d_b, \dots, d_b]$ است که کواریانس ماتریس $W(k)$ است.

گام ۴: تکرارهای فیلتر کالمن متوالی:

$$i = 1, 2, \dots, 2N-1 \quad \text{برای هر}$$

$$g^i = p^{i-1} h_i^T [h_i p^{i-1} h_i^T + r_i]^{-1}$$

$$P^i = P^{i-1} - g^i h_i P^{i-1}$$

$$\delta^i = y_i(k) - h_i b(k-1)$$

برش (Truncation):

$$\alpha^i = \underset{0 \leq \alpha \leq 1}{MAX} [\alpha | 0 \leq [b^{i-1}] + \alpha \delta^i g^i \leq 1]$$

$$[b^i] = [b^{i-1}] + \alpha^i \delta^i g^i$$

نرمالیزه کردن

برای $m=0,2,\dots,N-2$

$$\beta_m = \sum_{j=m+1}^N b_{mj}^i, \quad b_{mj}^i = b_{mj}^i / \beta_m, \quad j=m+1,\dots,N$$

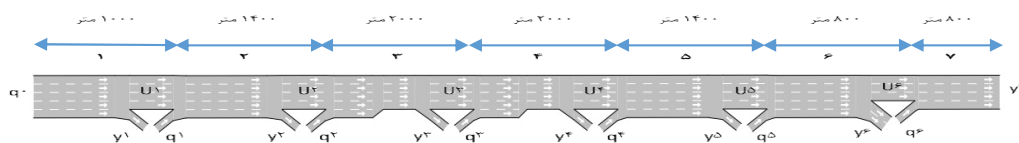
گام ۵: پیش بینی پارامترهای بازه زمانی بعدی:

$$P_k = P^{2N-1} \quad \text{و} \quad b(k) = b^{2N-1}$$

مقدار k به $k+1$ تغییر پیدا کرده و به گام اول باز می‌گردیم.

۴- اعتبارسنجی مدل

به منظور بررسی و اعتبارسنجی دقیق مدل ارائه شده، بزرگراه آزمایشی شکل ۴: شکل ۴ مورد بررسی قرار گرفته است. همانطور که در این شکل مشاهده می‌شود این بزرگراه شامل ۷ مقطع اصلی، ۷ ورودی و ۷ خروجی است که بدین ترتیب شامل ۲۸ زوج مبدا-مقصد است که به عنوان مجهولات ما در نظر گرفته می‌شود. از طرفی تعداد معلومات موجود نیز برابر است با تعداد خروجی‌ها به علاوه تعداد مقاطع اصلی منهای یک، که در مجموع ۱۳ عدد می‌شود. همانطور که مشخص است تعداد مجهولات ما در این شبکه بیش از ۲ برابر معلومات موجود است.

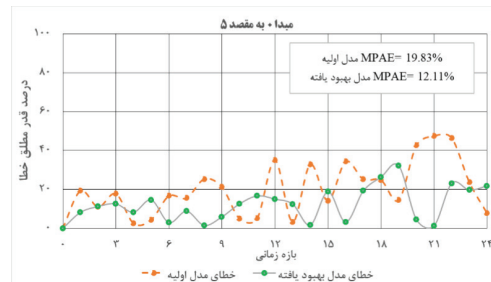


شکل ۴: بزرگراه آزمایشی مورد بررسی

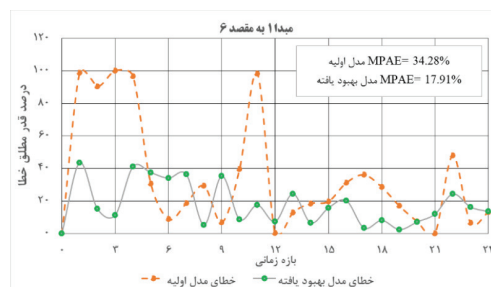
به منظور بررسی میزان دقت مدل، ماتریس مبدا-مقصدی فرضی ۲ ساعت و ۱۵ دقیقه‌ای که ۱۵ دقیقه ابتدایی آن به عنوان داده‌های اولیه گام صفر مدل است، در نظر گرفته شده است. همچنین طول هر بازه زمانی تخمین ماتریس نیز برابر با ۵ دقیقه در نظر گرفته شده و این بدین معنی است که روند تخمین ماتریس در ۲۴ بازه زمانی ۵ دقیقه‌ای انجام می‌گیرد. به منظور استخراج احجام خروجی و مقطع اصلی و داده‌های زمان سفر مورد نیاز، از نسخه ۷ نرم‌افزار شبیه‌ساز ای‌مس‌ان استفاده گردید. ماتریس مبدا-مقصد بزرگراه تخمین زده شده و با ماتریس مبدا-مقصد فرضی مقایسه می‌شود.

لازم به ذکر است در خروجی‌های ارائه شده علاوه بر مقایسه خروجی‌های الگوریتم ارائه شده با ماتریس فرضی واقعی، نتایج بدست آمده با الگوریتم لین و همکاران [۱۸] مقایسه می‌شود. در این راستا مدل ارائه شده در این مقاله با عنوان "مدل بهبود یافته" و مدل لین و همکاران با عنوان "مدل اولیه" نامگذاری شده است. تفاوت این دو مدل تفاوت نگرش در محاسبه زمان سفر مقاطع اصلی بزرگراه است که در بخش قبلی عنوان شد.

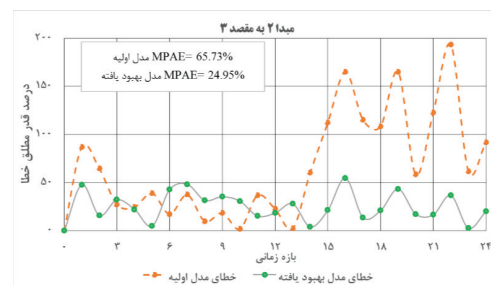
در شکل‌های ۵ تا ۷ نمودار تغییرات میزان خطای تخمین ماتریس در بازه‌های زمانی مختلف در ۳ زوج مبدا-مقصد نمایش داده شده است که میزان بهبود روش این مقاله نسبت به مطالعه لین و همکاران مشخص است. همان‌طور که در جدول ۱ مشاهده می‌شود در مجموع کل شبکه، میانگین درصد خطای مطلق تخمین ماتریس از ۲۲٫۷ درصد برای مدل پایه لین و همکاران به حدود ۱۸٫۲ درصد برای مدل بهبود یافته، کاهش پیدا نموده است که حدود ۲۵ درصد بهبود را نشان می‌دهد. همچنین مقادیر انحراف معیار و حداکثر خطا به ترتیب از ۲۲٫۷۶ و ۱۹۳ درصد به ۱۸٫۷ و ۱۰۶ درصد کاهش پیدا کرده است که نشان‌دهنده کارایی بهتر مدل بهبود یافته در شبکه‌های متراکم است. همچنین در مورد شاخص جذر متوسط مربع خطا نرمال (NRMSE) نیز مقادیر از حدود ۲۶٫۶۷ درصد به ۲۰٫۷۸ درصد کاهش پیدا کرده است که حدود ۲۹ درصد بهبود را در این شاخص نشان می‌دهد. بهبود بهتر شاخص NRMSE نشان‌دهنده این مسئله است که میزان خطاهای بسیار زیاد در مدل بهبود یافته کم شده است که این مورد از میزان کاهش حداکثر درصد خطای مطلق نیز قابل استنتاج است.



شکل ۵: قدر مطلق خطای نسبت‌های تخمین زده شده بین مبدا و مقصد ۵



شکل ۶: قدر مطلق خطای نسبت‌های تخمین زده شده بین مبدا ۶ و مقصد ۶



شکل ۷: قدر مطلق خطای نسبت‌های تخمین زده شده بین مبدا ۷ و مقصد ۷

جدول ۱: مقایسه قدر مطلق خطای مدل بهبود یافته و مدل پایه برای زوج مبدا-مقصدهای مختلف

p04		p03		p02		p01		درصد مطلق خطا
مدل پایه	مدل بهبود یافته	مدل پایه	مدل بهبود یافته	مدل پایه	مدل بهبود یافته	مدل پایه	مدل بهبود یافته	
۲۶.۷۸	۴۱.۴۴	۱۸.۱۱	۱۹.۲۸	۱۷.۹۳	۲۰.۹۳	۱۵.۵۳	۱۵.۸۶	میانگین
۲۵.۲۰	۳۰.۰۶	۱۴.۷۵	۱۷.۹۵	۲۱.۵۶	۱۷.۸۰	۱۳.۷۷	۱۱.۴۵	انحراف معیار
۰.۰۰	۰.۰۰	۰.۰۰	۰.۰۰	۰.۰۰	۰.۰۰	۰.۰۰	۰.۰۰	حداقل
۱۰.۹۶۲	۱۰.۶۵۷	۴۶.۱۷	۷۶.۹۷	۱۰۳.۲۲	۸۴.۴۹	۵۸.۶۹	۴۴.۰۶	حداکثر
۳۶.۴۳	۵۰.۸۴	۲۳.۱۷	۲۶.۱۰	۲۷.۷۱	۲۷.۲۴	۲۰.۵۷	۱۷.۹۷	NRMSE
p12		p07		p06		p05		درصد مطلق خطا
مدل پایه	مدل بهبود یافته	مدل پایه	مدل بهبود یافته	مدل پایه	مدل بهبود یافته	مدل پایه	مدل بهبود یافته	
۲۳.۸۶	۲۳.۱۶	۱۹.۳۸	۱۰.۶۰	۲۸.۷۸	۱۷.۵۸	۱۹.۸۳	۱۲.۱۱	میانگین
۱۹.۵۱	۱۶.۵۸	۱۲.۹۲	۸.۴۴	۲۱.۹۲	۱۵.۳۶	۱۳.۹۷	۸.۶۷	انحراف معیار
۰.۰۰	۰.۰۰	۰.۰۰	۰.۰۰	۰.۰۰	۰.۰۰	۰.۰۰	۰.۰۰	حداقل
۶۲.۴۳	۶۴.۵۵	۴۸.۶۳	۳۳.۸۴	۷۹.۶۴	۵۳.۴۴	۴۷.۵۷	۳۲.۲۲	حداکثر
۳۰.۵۸	۳۶.۹۳	۲۳.۱۵	۱۳.۴۵	۳۵.۹۱	۲۳.۱۴	۲۴.۱۰	۱۴.۷۹	NRMSE
p16		p15		p14		p13		درصد مطلق خطا
مدل پایه	مدل بهبود یافته	مدل پایه	مدل بهبود یافته	مدل پایه	مدل بهبود یافته	مدل پایه	مدل بهبود یافته	
۳۴.۲۸	۱۷.۹۱	۱۲.۳۸	۱۱.۵۸	۱۳.۱۹	۲۶.۰۰	۲۴.۰۴	۳۳.۵۶	میانگین
۳۴.۲۸	۱۳.۱۴	۷.۶۰	۹.۰۸	۱۲.۴۳	۱۸.۵۲	۲۳.۲۴	۱۶.۱۰	انحراف معیار
۰.۰۰	۰.۰۰	۰.۰۰	۰.۰۰	۰.۰۰	۰.۰۰	۰.۰۰	۰.۰۰	حداقل
۱۰۰.۰۰	۴۳.۴۳	۳۰.۰۰	۳۲.۴۹	۵۴.۵۲	۶۶.۳۴	۱۰۸.۳۵	۶۰.۳۰	حداکثر
۴۷.۹۹	۲۲.۰۶	۱۴.۴۴	۱۴.۶۰	۱۷.۹۵	۳۱.۷۰	۳۳.۱۱	۳۷.۰۹	NRMSE
p25		p24		p23		p17		درصد مطلق خطا
مدل پایه	مدل بهبود یافته	مدل پایه	مدل بهبود یافته	مدل پایه	مدل بهبود یافته	مدل پایه	مدل بهبود یافته	
۴۸.۰۵	۵۷.۴۹	۲۸.۸۴	۴۲.۳۱	۶۵.۷۳	۲۴.۹۵	۲۱.۰۰	۱۳.۹۲	میانگین
۳۶.۶۴	۲۱.۹۴	۱۶.۶۸	۲۰.۳۸	۵۵.۶۶	۱۵.۱۵	۱۳.۹۷	۱۰.۱۲	انحراف معیار
۰.۰۰	۰.۰۰	۰.۰۰	۰.۰۰	۰.۰۰	۰.۰۰	۰.۰۰	۰.۰۰	حداقل
۱۰۰.۰۰	۹۳.۲۶	۵۳.۹۴	۸۲.۶۷	۱۹۳.۳۰	۵۴.۷۶	۴۸.۷۹	۳۶.۵۴	حداکثر
۵۹.۹۸	۶۱.۳۸	۳۳.۱۵	۴۶.۷۸	۸۵.۴۱	۲۹.۰۴	۲۵.۰۷	۱۷.۰۹	NRMSE
p35		p34		p27		p26		درصد مطلق خطا
مدل پایه	مدل بهبود یافته	مدل پایه	مدل بهبود یافته	مدل پایه	مدل بهبود یافته	مدل پایه	مدل بهبود یافته	
۹.۷۱	۱۱.۵۵	۱۱.۸۷	۳۳.۳۱	۲۵.۴۹	۱۲.۲۴	۱۰.۶۷	۱۱.۰۷	میانگین
۶.۳۸	۹.۲۷	۱۰.۱۰	۱۰.۷۰	۱۵.۱۴	۸.۴۱	۶.۷۴	۷.۳۷	انحراف معیار
۰.۰۰	۰.۰۰	۰.۰۰	۰.۰۰	۰.۰۰	۰.۰۰	۰.۰۰	۰.۰۰	حداقل
۲۰.۳۸	۲۳.۴۷	۴۳.۷۰	۴۰.۹۳	۵۰.۸۳	۳۱.۱۱	۲۲.۰۰	۲۳.۵۳	حداکثر
۱۱.۵۵	۱۴.۷۰	۱۵.۴۵	۲۴.۶۵	۲۹.۵۰	۱۴.۷۶	۱۲.۵۴	۱۳.۲۲	NRMSE
p46		p45		p37		p36		درصد مطلق خطا
مدل پایه	مدل بهبود یافته	مدل پایه	مدل بهبود یافته	مدل پایه	مدل بهبود یافته	مدل پایه	مدل بهبود یافته	
۲۸.۸۴	۶.۴۰	۱۶.۳۷	۷.۴۵	۱۹.۹۰	۴.۶۴	۱۴.۸۴	۳.۶۰	میانگین
۱۰.۱۷	۳.۶۹	۹.۴۰	۴.۷۷	۹.۴۶	۳.۹۴	۷.۵۵	۳.۵۱	انحراف معیار
۰.۰۰	۰.۰۰	۰.۰۰	۰.۰۰	۰.۰۰	۰.۰۰	۰.۰۰	۰.۰۰	حداقل
۴۳.۹۷	۱۴.۲۱	۳۳.۸۴	۱۶.۹۵	۴۱.۲۷	۱۴.۹۹	۳۰.۶۰	۱۲.۷۱	حداکثر
۳۰.۵۱	۷.۳۵	۱۸.۷۹	۸.۷۹	۲۱.۹۵	۶.۰۴	۱۶.۵۹	۴.۹۸	NRMSE
کلی		p57		p56		p47		درصد مطلق خطا
مدل پایه	مدل بهبود یافته	مدل پایه	مدل بهبود یافته	مدل پایه	مدل بهبود یافته	مدل پایه	مدل بهبود یافته	
۲۲.۲۷	۱۸.۲۲	۷.۴۶	۲.۸۹	۱۹.۳۵	۸.۰۸	۱۹.۱۲	۳.۹۹	میانگین
۲۲.۷۶	۱۸.۷۰	۴.۳۹	۲.۰۵	۱۰.۳۲	۶.۱۲	۷.۹۶	۲.۱۱	انحراف معیار

۵- نتیجه‌گیری

در این مقاله، مدلی جهت تخمین پویای ماتریس مبدأ-مقصد یک کریدور بزرگراهی با استفاده از اجماع شمارش شده ارائه گردید. به طور کلی مطالعاتی که در این زمینه انجام شده است را می‌توان به دو گروه بر مبنای تخصیص و بدون تخصیص تقسیم‌بندی نمود که هر یک مزایا و معایب خاص خود را دارند. با توجه به محدودیت‌های موجود در زمینه ماتریس اولیه مبدأ-مقصد و مدل تخصیص دینامیکی، در این مقاله از روش‌های بدون تخصیص استفاده شد که این روش‌ها برای کریدورهای بزرگراهی مناسب هستند.

در مدل ارائه شده این مقاله، علاوه بر استفاده از اجماع ورودی و خروجی کریدور بزرگراهی، از توزیع زمان سفر هر یک از زوج مبدأ-مقصد‌ها به منظور مد نظر قرار دادن پویایی جریان ترافیکی و تاخیر حرکتی وسایل نقلیه استفاده شد و در نهایت با استفاده از معادلات فضای حالت و الگوریتم فیلتر کالمن متوالی نسبت‌های مبدأ-مقصد تخمین زده شد.

همچنین مدل ارائه شده، بر روی یک شبکه آزمایشی پیاده‌سازی و ارزیابی شد. در شبکه آزمایشی، میزان دقت ماتریس تخمینی مدل با یک ماتریس فرضی مقایسه و ارزیابی گردید. همچنین با استفاده از این شبکه آزمایشی مدل ارائه شده در این مقاله با مدل ارائه شده توسط لین و همکاران مقایسه شد که نتایج حاکی از این بود که مدل ارائه شده در شبکه‌های شلوغ نتایج بهتری نسبت مدل‌های قبلی ارائه می‌دهد.

۶- منابع

- [1] Z. Lu, W. Rao, Y.-J. Wu, L. Guo, and J. Xia, "A Kalman filter approach to dynamic OD flow estimation for urban road networks using multi-sensor data," *Journal of Advanced Transportation*, 2014.
- [2] R. Frederix, "Dynamic Origin-Destination Matrix Estimation In Large-Scale Congested Networks," K.U.Leuven, 2012.
- [3] H. Chi, "An improved framework for dynamic origin-destination (OD) matrix estimation," 2010.
- [4] P.-W. Lin, "A robust model for estimating freeway dynamic origin-destination matrices," 2006.
- [5] X. Zhou, "Dynamic origin-destination demand estimation and prediction for off-line and on-line dynamic traffic assignment operation," 2004.
- [6] E. Cascetta, D. Inaudi, and G. Marquis, "Dynamic estimators of origin-destination matrices using traffic counts," *Transportation science*, vol. 27, no. 4, pp. 363-373, 1993.
- [7] M. G. Bell, "The estimation of origin-destination matrices by constrained generalised least squares," *Transportation Research Part B: Methodological*, vol. 25, no. 1, pp. 13-22, 1991.
- [8] M. Cremer and H. Keller, "A new class of dynamic methods for the identification of origin-destination flows," *Transportation Research Part B: Methodological*, vol. 21, no. 2, pp. 117-132, 1987.
- [9] M. Bierlaire and F. Crittin, "An efficient algorithm for real-time estimation and prediction of dynamic OD tables," *Operations Research*, vol. 52, no. 1, pp. 116-127, 2004.
- [10] M. P. Dixon and L. Rilett, "Real-Time OD Estimation Using Automatic Vehicle Identification and Traffic Count Data," *Computer-Aided Civil and Infrastructure Engineering*, vol. 17, no. 1, pp. 7-21, 2002.

- [11] H. Tavana, "Internally consistent estimation of dynamic network origin-destination flows from intelligent transportation systems data using bi-level optimization," The University of Texas at Austin, 2001.
- [12] X. Zhou and H. S. Mahmassani, "Dynamic origin-destination demand estimation using automatic vehicle identification data," *Intelligent Transportation Systems, IEEE Transactions on*, vol. 7, no. 1, pp. 105–114, 2006.
- [13] R. Frederix, F. Viti, R. Corthout, and C. M. Tampère, "New Gradient Approximation Method for Dynamic Origin-Destination Matrix Estimation on Congested Networks," *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*, vol. 2263, no. 1, pp. 19–25, 2011.
- [14] P. Cao, T. Miwa, T. Yamamoto, and T. Morikawa, "Bilevel Generalized Least Squares Estimation of Dynamic Origin-Destination Matrix for Urban Network with Probe Vehicle Data," *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*, vol. 2333, no. 1, pp. 66–73, 2013.
- [15] H. D. Sherali and T. Park, "Estimation of dynamic origin-destination trip tables for a general network," *Transportation Research Part B: Methodological*, vol. 35, no. 3, pp. 217–235, 2001.
- [16] M. G. Bell, "The real time estimation of origin-destination flows in the presence of platoon dispersion," *Transportation Research Part B: Methodological*, vol. 25, no. 2, pp. 115–125, 1991.
- [17] G.-L. Chang and J. Wu, "Recursive estimation of time-varying origin-destination flows from traffic counts in freeway corridors," *Transportation Research Part B: Methodological*, vol. 28, no. 2, pp. 141–160, 1994.
- [18] P.-W. Lin and G.-L. Chang, "A generalized model and solution algorithm for estimation of the dynamic freeway origin-destination matrix," *Transportation Research Part B: Methodological*, vol. 41, no. 5, pp. 554–572, 2007.
- [19] J. Li, B. Lin, Z. Sun, and X. Geng, "An estimation model of time-varying origin-destination flows in expressway corridors based on unscented Kalman filter," *Science in China Series E: Technological Sciences*, vol. 52, no. 7, pp. 2069–2078, 2009.

Highway Corridor Dynamic OD Matrix Estimation Using Traffic Counts

Afshin Shariat Mohaymany¹, Mohammadreza Rafeei²

^۱-Associate professor, Department of Civil engineering, IUST

²-MSc of Transportation Engineering, IUST

Abstract

A dynamic Origin-Destination matrix includes time-dependent traffic demand information for a road network. This matrix can be regarded as an important input for ITS systems and DTA models. Since direct estimation of this matrix is time-consuming and non cost-effective, during the past two decades much effort has been devoted to develop effective and efficient methods to estimate dynamic O-D matrices using traffic counts. The present dynamic O-D matrix estimation models can be classified into two main categories: assignment-based and non-assignment-based models. Considering the fact that the results of assignment-based models estimation depend extensively on an initial O-D matrix; the accuracy of the initial matrix is the matter of issue to obtain the appropriate estimation. In the meantime, the DTA model must accurately be calibrated in order to correctly imitate travelers' behavior and traffic conditions in the real world. To fill the gap in the process followed to estimate the O-D matrix in Tehran, this paper aims to present a non-assignment-base model. In the suggested model, entrance and exit volumes and travel time distribution of a highway corridor and a sequential Kalman filtering algorithm have been employed to estimate the dynamic O-D matrix. To evaluate the accuracy of the model and to compare it with previous models, a synthetic network and data have been generated. The results indicated the better O-D matrix estimation resulted from proposed model when compared with previous models particularly in congested networks.

Keywords: *OD Estimation, Traffic Counts, Highway Corridor*