

طبقه‌بندی روش‌های تخمین ماتریس مبدا- مقصد با اطلاعات شمارش حجم کمان‌ها در شبکه‌های خلوت و شلوغ جاده‌ای

مقاله پژوهشی

علیرضا ماهپور*، استادیار، دانشکده عمران، آب و محیط‌زیست، دانشگاه شهید بهشتی، تهران، ایران
عبدالرضا رضایی ارجرودی، دانش‌آموخته کارشناسی ارشد، مرکز تحقیقات راه، مسکن و شهرسازی، تهران، ایران

*پست الکترونیکی نویسنده مسئول: a_mahpour@sbu.ac.ir

دریافت: ۹۸/۰۴/۱۰ - پذیرش: ۹۸/۱۱/۰۵

صفحه ۹۲-۸۱

چکیده

یک ورودی ضروری برای فرآیند برنامه‌ریزی حمل‌ونقل میزان تقاضای سفر در قالب ماتریس مبدا- مقصد است. روش‌های مرسوم برای دسترسی مستقیم به این ماتریس که مبتنی بر انجام مصاحبه و آمارگیری در محل‌های مشخص بوده، پرهزینه و زمان‌بر هستند. از این‌رو به منظور روش‌های ریاضی مبتنی بر آمار شهودی مانند حجم ترافیک در معابر شبکه روز به روز محبوبیت بیشتری در مطالعات حمل‌ونقل پیدا کرده‌اند. این روش‌ها به این صورت تعریف می‌شوند که با در دست داشتن یک ماتریس مبدا- مقصد اولیه و نیز اطلاعات جریان ترافیک مشاهده شده فعلی در تعدادی از معابر شبکه، به دنبال برآورد ماتریسی هستند که با داشتن کمترین فاصله از ماتریس اولیه، در صورت تخصیص به شبکه، حجم‌های مشاهده شده را بازتولید کند. از آن‌جا که روش‌های مرسوم در دستیابی به این ماتریس که مبتنی بر انجام مصاحبه و آمارگیری در محل هستند، پرهزینه و وقت‌گیر بوده و موجبات مزاحمت برای مردم را در پی دارند، روش‌های ریاضی مبتنی بر آمار مشاهده شده (مانند شمارش حجم عبوری از معابر شبکه) روز به روز گسترش بیشتری پیدا می‌کنند. در این پژوهش روش‌های برآورد ماتریس مبدا- مقصد را به لحاظ عملکرد شبکه می‌توان به شبکه‌های شلوغ و خلوت تقسیم و ویژگی‌های هر یک بررسی و ارایه شده است.

واژه‌های کلیدی: روش‌های تخمین ماتریس مبدا- مقصد، شبکه‌های خلوت، شبکه‌های شلوغ، طبقه‌بندی

۱- مقدمه

۱. برآورد مستقیم نمونه
۲. مدل‌های برآورد تقاضا
۳. و مدل‌های برآورد ماتریس مبدا- مقصد با استفاده از اطلاعات حجم کمان‌های شبکه
روش‌های مستقیم سعی در دنبال کردن مسافر یا وسیله‌نقلیه از مبدا به مقصد را دارند. در این روش‌ها سعی می‌شود از طریق پرسشگری (نمونه پرسشنامه مبدا- مقصد بین شهری در پیوست) یا مشاهده‌ی نمونه‌ای از سفرها توسط آمارگران، و تعمیم این اطلاعات به کل جمعیت، به برآوردی از تعداد سفرهای مبدا- مقصد دست پیدا کرد. از آنجا که این نوع آمارگیری‌ها بسیار وقت‌گیر و پرهزینه هستند، انجام هر ساله‌ی آن‌ها جهت دستیابی به اطلاعات به‌هنگام تقاضا تقریباً غیرممکن است. از این رو، از این نوع روش‌ها تنها جهت

تعیین میزان تقاضا و الگوهای مربوط به آن نقش مهمی در تحلیل یک سیستم ایفا می‌کند. در سیستم حمل‌ونقل اساس نمایش تقاضا و تحلیل‌های مربوط به آن بر پایه ماتریسی به نام ماتریس مبدا- مقصد بنا نهاده شده است. از آن‌جا که روش‌های مرسوم در دستیابی به این ماتریس که مبتنی بر انجام مصاحبه و آمارگیری در محل هستند، پرهزینه و وقت‌گیر بوده و موجبات مزاحمت برای مردم را در پی دارند، روش‌های ریاضی مبتنی بر آمار مشاهده شده (مانند شمارش حجم عبوری از معابر شبکه) روز به روز گسترش بیشتری پیدا می‌کنند. روش معمول بیان تقاضا، استفاده از ماتریس‌های مبدا-مقصد است. در حالت کلی ماتریس مبدا- مقصد ممکن است به یکی از سه روش زیر برآورد شوند (بیرلایر و تونیت ۱۹۹۵).

از مهم‌ترین اجزای تاثیرگذار در سفر قابل مشاهده است. بر این اساس به نظر می‌رسد به‌کارگیری مفاهیم فازی می‌تواند در بهبود مدل‌سازی و تعریف واقعی‌تر متغیرها کارگشا باشد (تتودوروچ ۱۹۹۹).

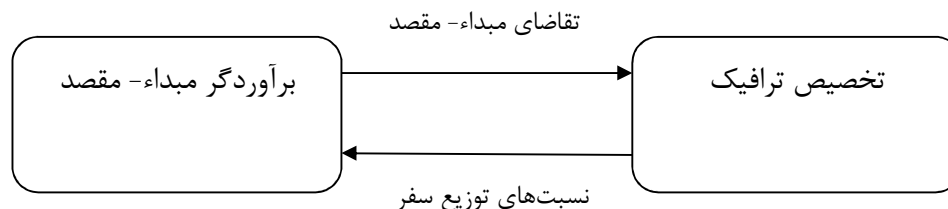
این پژوهش به دنبال طبقه‌بندی روش‌های تخمین ماتریس مبدا- مقصد با اطلاعات شمارش حجم کمان‌ها در شبکه‌های خلوت و شلوغ جاده‌ای است. در این پژوهش با فرض موجود بودن اطلاعات شبکه حمل‌ونقل و اطلاعات مبدا- مقصد تاریخی و شمارش حجم کمان‌ها، مسئله برآورد تقاضای مبدا- مقصد به صورت یافتن ماتریس تقاضای سازگار با خطای کمینه ناشی از فرآیند برآورد مطرح و با رویکردهای مختلف دسته‌بندی می‌شود

۲- پیشینه تحقیق

مسئله مورد نظر این مطالعه را می‌توان به نوعی انجام عکس فرآیند تخصیص ترافیک نام برد. در تخصیص ترافیک با توجه به ماتریس تقاضای سفر بین زوج‌های مبدا و مقصد و اطلاعات ساختار شبکه (گره‌ها، کمان‌ها، توابع زمان سفر- حجم) مقدار جریان در کمان‌های شبکه محاسبه می‌شود. در اینجا عکس این عمل انجام می‌شود، یعنی با استفاده از اطلاعات حجم جریان در کمان‌های شبکه و ساختار شبکه، ماتریس تقاضای مبدا-مقصد به دست می‌آید (ردی و چاکروپورتی ۱۹۹۸). به بیان ساده‌تر، هدف برآورد (یا تصحیح) ماتریس تقاضای مبدا- مقصد بر اساس اطلاعات در دسترس شبکه (حجم جریان ترافیک در کمان‌های شبکه) است. بدیهی است پس از تخصیص ماتریس مبدا- مقصد بدست آمده بر روی شبکه، انتظار می‌رود جریان در هر کمان تقریباً برابر جریان مشاهده شده شود. لازم به ذکر است که این برابری به معنای برابری مطلق ریاضی نبوده، منظور نزدیک بودن آماری دو مقدار به یکدیگر است (شفی ۱۹۸۴). برآورد تقاضای مبدا- مقصد اساساً از دو فرآیند مجزا تشکیل می‌شود:

۱. تخصیص ترافیک برای توزیع تقاضا در شبکه
 ۲. محاسبه یک ماتریس تقاضای جدید بر اساس اطلاعات ورودی موجود
- تفاوت بین این دو فرآیند در شکل ۱ نمایش داده شده است. خروجی تخصیص ترافیک در بیشتر روش‌ها به صورت یک ماتریس تخصیص در برآورد تقاضای جدید استفاده می‌شود. در ادامه این ماتریس با جزئیات دقیق‌تری معرفی می‌شود (اشک و بن‌آکیوا ۲۰۰۲).

دستیابی به اطلاعات پایه برای تقاضا استفاده می‌شود، که معمولاً هر چند دهه (۱۰ الی ۲۰ سال) یکبار انجام می‌شود (شفی ۱۹۸۴). روش دوم برآورد ماتریس تقاضا موسوم به مدل‌های تقاضا است. در این روش‌ها ماتریس تقاضا با به‌کارگیری سیستمی از مدل‌ها، سفرهای انجام شده توسط شیوه خاصی از وسائل حمل‌ونقل را در یک بازه زمانی خاص برآورد می‌کند. در این روش معمولاً مدل‌های تقاضا برای برقراری ارتباط بین ویژگی‌های جغرافیایی، اجتماعی- اقتصادی و سیستم عرضه شبکه معلوم و ماتریس مبدا- مقصد مجهول فرض می‌شوند. پارامترهای این مدل‌ها ممکن است براساس پیمایش‌های پیشین صورت گرفته در همان ناحیه یا مدل‌های موجود در شرایط مشابه پرداخت شوند. عدم وجود اطلاعات پایه از سفرهای مبدا- مقصد برای پرداخت مدل‌ها، مطلوب نبودن مدل‌های محل‌های جغرافیایی دیگر، یا نبود مدل‌های قبلی برای همان مناطق، باعث شده که گرایش به سمت استفاده از مدل‌های دسته سوم، که به برآورد ماتریس تقاضا بر اساس اطلاعات ترافیکی می‌پردازند بیشتر شود (نگوین ۱۹۸۴). انگیزه اساسی در گرایش به روش سوم برآورد ماتریس تقاضا که به برآورد این ماتریس از روی اطلاعات حجم کمان‌های شبکه می‌پردازد، واقعیت‌های عملی نظیر محدودیت فراهم بودن اطلاعات و راحتی نسبی دسترسی به حجم کمان‌های شمارش شده نسبت به استخراج مستقیم این اطلاعات است. علاوه بر این، با افزایش به‌کارگیری سیستم‌های هوشمند حمل‌ونقل (ITS) در سال‌های اخیر، اطلاعات جریان ترافیک در شبکه‌ها به صورت پیوسته و بدون هزینه اضافی گردآوری می‌گردد که این امر با تامین داده‌های مورد نیاز، برآورد ماتریس سفر با کمترین هزینه و در کمترین فاصله‌ی زمانی را ممکن می‌سازد (کاستا ۱۹۸۴). به منظور بازسازی دقیق پدیده‌ها و نزدیکی بیشتر آن‌ها به واقعیت، پژوهشگران همواره برآنند تا از روش‌ها و ابزارهای محاسباتی و مدل‌سازی دقیق‌تری در تحقیقات خود استفاده کنند. در دهه‌های اخیر، دانشمندان بر اساس مشاهداتی که از طبیعت داشته‌اند، روش‌های جدیدتری برای مدل‌سازی پیشنهاد نموده‌اند. یکی از این روش‌ها، با مقبولیت زیادی در علوم مهندسی، نظریه فازی است. توانایی سیستم‌های مبتنی بر این نظریه در استفاده از دانش بشری و به‌کارگیری مفاهیم زبانی مبهم و غیرقطعی که در گذشته قابل تبدیل به مفاهیم ریاضی نبوده از مشخصه‌های این روش است. از نظریه فازی می‌توان در تعریف متغیرهای موثر در مدل‌ها بر اساس مفاهیم زبانی استفاده کرد. در بسیاری از مباحث حمل‌ونقل، ماهیت تصادفی و غیرقطعی تصمیم‌گیری، انتخاب و رفتار ترافیکی انسان‌ها به‌عنوان یکی



شکل ۱. عمل کرد متقابل برآوردگر مبداء- مقصد و مدل تخصیص ترافیک

هم‌پوشانی برخی از این موارد در برخی از مطالعات، تنها به بیان آن‌ها در یک بخش اکتفا شده و در سایر بخش‌ها تکرار نگردیده است.

۴-۲- روش‌های برآورد تقاضا از روی اطلاعات

کمان‌ها با توجه به عملکرد شبکه

همان‌گونه که پیش‌تر اشاره شد، رویکردهای گوناگونی برای حل مسئله برآورد تقاضای مبداء- مقصد ارائه شده است. از آن‌جا که روش‌های مستقیم برآورد تقاضا بسیار پرهزینه و زمان‌بر هستند، استفاده از روش‌های غیر مستقیم مورد توجه پژوهشگران قرار گرفته است و همین امر توجهات فراوانی را به سمت این زمینه تحقیقاتی سوق داده است. در سال‌های اخیر افزایش توجهات به ارائه روش‌های کارآتر برآورد تقاضای مبداء- مقصد از روی اطلاعات موجود کمان‌های شبکه و ماتریس تقاضای تاریخی بوده است. به‌طور معمول، ماتریس هدف یا همان ماتریس تقاضای تاریخی با به‌کارگیری روش‌های مستقیم آمارگیری مبداء- مقصد یا مدل‌های تقاضای سفر (نظیر مدل برنامه‌ریزی چهار مرحله‌ای) حاصل می‌گردد. تمرکز ادبیات ارائه شده بر روش‌های برآورد تقاضا با استفاده از ترکیب اطلاعات تاریخی و شمارش حجم کمان‌ها است.

۴-۲-۱- روش‌های برآورد تقاضا در شبکه‌های

خلوت

در روش‌های برآورد تقاضای مبداء- مقصد در شبکه‌های خلوت، فرض می‌شود که زمان سفر کمان و مسیر با استفاده از مدل شبکه و مستقل از حجم ترافیک روی کمان قابل محاسبه است و بنابراین، می‌توان براساس اطلاعات زمان سفر آزاد، سهم هر مسیر از میزان تقاضای مبداء- مقصد مختلف را ابتدا محاسبه نمود و عناصر ماتریس تخصیص

مطالعات انجام‌شده در زمینه برآورد ماتریس مبداء- مقصد بر اساس اطلاعات شمارش حجم کمان‌های شبکه دارای گستره وسیع و انواع متفاوتی بوده و نمی‌توان ادعا کرد که به تمامی آن‌ها در این پژوهش پرداخته شده است. با این وجود، در این بخش سعی شده که چهارچوبی کلی و منظم از مطالعات بررسی‌شده ارائه گشته و هر یک از آن‌ها به تناسب تشریح شوند. در یک چهارچوب کلی، می‌توان مدل‌های برآورد ماتریس مبداء- مقصد بر اساس اطلاعات شمارش حجم کمان‌ها را به دو دسته کلی روش‌های برآورد تقاضای استاتیکی و دینامیکی تقسیم کرد. در روش استاتیکی تقاضای سفر به زمان وابسته نیست، بنابراین تنها یک مقدار تقاضای میانگین برای کل بازه تحلیل استفاده می‌شود. در حالت دینامیکی، اطلاعات با تواتر زیادتری گردآوری می‌شود و این امر اجازه می‌دهد تا نوسانات تقاضا در خلال بازه تحلیل ثبت گردد. در مدل‌های برآورد استاتیکی، نرخ سفر بر روی یک بازه زمانی بلند (نظیر ساعت اوج، یا کل روز) و با فرض شرایط همگن در شبکه برآورد می‌شود و به نوسانات تقاضا در خلال زمان توجهی نمی‌شود. اما در مدل‌های برآورد دینامیکی، معمولاً فرض می‌شود که زمان تحلیل به چند زیر بازه تقسیم شده که هر عنصر از ماتریس مبداء- مقصد دینامیکی بیانگر حجم سفر بین یک زوج مبداء- مقصد خاص در یک بازه زمانی مشخص است. مدل‌های دینامیکی، مدل‌های پیچیده‌ای هستند که الگوی دینامیکی تقاضا، رفتار تصادفی ناسازگار رانندگان و اندرکنش سیستم عرضه و تقاضا را نیز در خود جای می‌دهند (برا و راثو ۲۰۱۱). در ادامه به مرور اجمالی ادبیات مسئله برآورد تقاضای مبداء- مقصد از روی اطلاعات کمان‌های شبکه و بررسی اهداف و رویکردها، در قالب تقسیم‌بندی‌های گوناگون آن پرداخته خواهد شد. در انتها نیز به بررسی اندک پژوهش‌های صورت گرفته با رویکرد فازی پرداخته خواهد شد. به دلیل

و نگوین (۱۹۸۸) ادعا کردند که در صورت فرض توزیع نرمال چند متغیره برای تقاضای برآورد شده و حجم ترافیک کمان‌ها، برآوردکننده کمینه مربعات تعمیم یافته و درست‌نمایی بیشینه بر یکدیگر منطبق خواهند بود. امکان ارایه برآوردهای منفی برای برخی اعضای ماتریس سفر، یکی از مشکلات این روش است. بل (۱۹۹۱) برای حل این مشکل شرط نامنفی بودن را به این روش اضافه نمود.

۲-۴-۲- روش‌های برآورد تقاضا در شبکه‌های شلوغ

در شبکه‌های شلوغ، زمان سفر کمان‌ها به نسبت‌های انتخاب مسیر و در نتیجه نسبت‌های تخصیص به حجم جریان کمان‌ها وابسته هستند. به‌طور معمول، نه زمان سفر و نه حجم برای تمامی کمان‌های شبکه موجود نیستند و این اطلاعات تنها برای برخی از کمان‌های گردآوری می‌شوند. در مقابل، این کمیت‌ها باید با به‌کارگیری یک مدل تخصیص که خود به این عوامل وابسته است تعیین گردند. مسئله وابستگی متقابل بین برآورد ماتریس مبداء- مقصد و تخصیص ترافیک روی شبکه‌های شلوغ توسط پژوهشگران متعددی بررسی شده است. اولین مدل در این گروه مطالعات توسط نگوین (۱۹۷۷) ارایه شد و بعدها با ایده چگونگی دست‌یابی به ماتریس‌های یکتا، توسط جورستن و نگوین (۱۹۷۹) و گور و همکاران (۱۹۸۰) توسعه یافت. فیسک (۱۹۸۹) با یک مدل ترکیبی نشان داد که چگونه فرآیند برآورد ماتریس سفر به روش بی‌نظمی بیشینه پیشنهاد شده توسط ون‌زویلن و ویلامسون (۱۹۸۰) می‌تواند با یک مدل تخصیص بهینه کاربر ترکیب شده و یک مدل ریاضی واحد را در اختیار بگذارد، که به صورت یک مسئله برنامه‌ریزی دو سطحی مشابه روش برآورد ماتریس پیشنهادی توسط نگوین (۱۹۸۱) تاثیر تراکم ترافیک را در برآورد ماتریس تقاضای سفر منظور کند. مسائل برنامه‌ریزی دو سطحی معمولاً به دشواری حل می‌شوند، زیرا ارزیابی تابع هدف بالاتر نیازمند حل مسئله بهینه‌یابی سطح پایین‌تر است. علاوه بر این، از آنجا که مسئله سطح پایین‌تر یک مسئله محدودیت‌دار غیر خطی است، معمولاً کل مسئله یک مسئله غیر کوژ تلقی می‌شود. غیر کوژ بودن وجود پاسخ‌های محلی را به‌دنبال دارد و از این‌رو یافتن بهینه جهانی دشوار خواهد بود. در این دسته مسائل سطح بالایی، مربوط به مسئله برآورد ماتریس سفر و سطح پایینی بیانگر

قابل محاسبه خواهند بود. روش‌های ارایه شده در ادبیات برای برآورد تقاضای مبداء- مقصد استاتیکی روی شبکه‌های خلوت شامل روش‌های کمینه‌سازی اطلاعات (ون‌زویلن ۱۹۷۸)، بی‌نظمی بیشینه (ویلامسون ۱۹۷۸، ویلامسن و ون‌زویلن ۱۹۸۰، ون‌زویلن و برنستون ۱۹۸۲)، درست‌نمایی بیشینه (اسپایس ۱۹۹۱، کاستا و نگوین ۱۹۸۸، هزلتون ۲۰۰۰)، کمینه مربعات تعمیم یافته (کاستا ۱۹۸۴، بل ۱۹۹۱) و روش استتاجی بیزین (ماهر ۱۹۸۳) است. روش‌های برآورد اولیه براساس مدل جاذبه (رابیلارد ۱۹۷۵، هاگبرگ ۱۹۷۶) بودند. مدل جاذبه مسئله برآورد تقاضای مبداء- مقصد را به مسئله پرداخت تعداد کمی از پارامترهای مجهول تقلیل می‌دهد. ون‌زویلن و ویلامسون (۱۹۸۰) مدل جاذبه را گسترش داده و به تکنیک بی‌نظمی بیشینه تبدیل نمودند. در این تکنیک بین یک ماتریس تخصیص مربوط به بهترین ماتریس تقاضای فعلی و به‌روز رسانی برآورد با استفاده از این ماتریس یک فرآیند تکراری انجام می‌شود. ماتریس مبداء- مقصد حاصله محتمل‌ترین ماتریسی است که با اطلاعات مشاهده شده سازگاری دارد. در این روش فرض می‌شود که شمارش حجم کمان‌ها سازگار هستند (یعنی حجم ورودی کل به هر گره برابر حجم خروجی کل از آن گره است). علاوه بر این، سازگاری داخلی بین شمارش حجم کمان‌ها و نسبت‌های انتخاب مسیر ضروری است. هر چند مدل درست‌نمایی بیشینه ارایه شده توسط اسپایس (۱۹۸۷) به لحاظ مبنایی با این مدل متفاوت است، اما الزامات یکسانی دارد. این الزامات در موارد واقعی به ندرت ارضا می‌شوند زیرا شمارش حجم کمان‌ها از منابع مختلفی حاصل می‌شود که هر یک قابلیت اطمینان متفاوتی دارند. روش‌های پیشرفته‌تر، اطلاعات مشاهده شده را با آگاهی از ماتریس‌های مبداء- مقصد تاریخی ترکیب می‌نماید. بل (۱۹۹۱) ماتریس واریانس- کواریانس برآورد کننده بی‌نظمی بیشینه را ارایه نمود. ماهر (۱۹۸۳) برآوردکننده بیزین ماتریس تقاضای مبداء- مقصد را ارایه نمود که در آن توزیع نرمال چند متغیره برای توزیع جریان مشاهده شده و ماتریس تقاضای تاریخی فرض شده است. کاستا (۱۹۸۴) برآوردکننده کمینه مربعات تعمیم یافته را برای ترکیب اطلاعات مختلف به‌کار گرفت. در این روش وجود خطای اندازه‌گیری و تغییرپذیری زمانی در جریان مشاهده شده به‌طور صریح لحاظ شده است. کاستا

نامعادلات تغییری برای حل آن استفاده نمود. الگوریتم‌های تکراری ابتکاری دیگری نیز توسط پژوهشگران متعددی برای حل این مسئله برآورد دو سطحی به کار گرفته شده است (گارسیا و همکاران ۲۰۰۸، لاندگرن و پترسون ۲۰۰۸). اسپایس (۱۹۹۰) مسئله برآورد دو سطحی زیر را همراه با یک رویکرد ابتکاری بر اساس روش گرادیان برای حل آن پیشنهاد داد:

$$\text{Min } Z(x) = \frac{1}{2} \sum_{l \in L} (y_l - \tilde{y}_l)$$

$$\text{s. t. } y = \text{assign}(x)$$

یک روش حل ترکیبی توسط الگوریتم ژنتیک به حل مسئله می‌پرداخت. اما اثبات ریاضی بهینه بودن روش حل آن‌ها مورد مطالعه قرار نگرفت. کودینا و همکاران (۲۰۰۶) برای حل مشکل دیفرانسیل ناپذیری سطح بالایی مسئله الگوریتم‌های جایگزینی ارائه کردند و بر روی شبکه‌های کوچک مورد آزمایش قرار دادند. بعدتر یک مفهوم پیوستگی در تابع هزینه مسیر، توسط گارسیا و همکاران (۲۰۰۸) ارائه و فرمول‌بندی و بر روی یک شبکه کوچک پیاده‌سازی شد. لاندگرن و پترسون (۲۰۰۸) مسئله ابتکاری دوسطحی را ارتقا دادند و با یک الگوریتم نزولی آن را حل کردند. آن‌ها الگوریتم خود را بر روی یک شبکه بزرگ برای شهر استکهلم با ۹۶۴ کمان و ۱۶۴۲ زوج مبدا- مقصد آزمایش کردند. کاستا و پوستورینو (۲۰۰۱) مسئله برآورد ماتریس تقاضا را به کمک تخصیص تعادلی احتمالی و به صورت یک مسئله نقطه ثابت مدل کردند:

$$\hat{x} = \arg \min [F_1(x, x^H) + F_2(A(\hat{x})x, \tilde{y})]; x \geq 0$$

۳-ارایه الگوی طبقه‌بندی روشهای تخمین ماتریس مبدا- مقصد با اطلاعات شمارش حجم کمان‌ها

در شبکه‌های درون و برون شهری جاده‌ای

روش‌های برآورد ماتریس مبدا- مقصد را به لحاظ عملکرد شبکه می‌توان به شبکه‌های شلوغ و خلوت تقسیم نمود. در شکل ۲ طبقه‌بندی‌های مختلف مطالعات برآورد ماتریس تقاضا با استفاده از اطلاعات ترددشماری ترافیک ارائه شده است. همچنین شکل ۳ نیز به ارائه چارچوب و الگوی تخمین ماتریس مبدا- مقصد با اطلاعات شمارش حجم کمان‌ها در شبکه‌های خلوت و شلوغ جاده‌ای پرداخته است.

مسئله تخصیص تعادلی شبکه است. الگوریتم ژنتیک (یک روش جست‌وجوی جهانی احتمالی) نیز می‌تواند برای حل مدل‌های برنامه‌ریزی دو سطحی مورد استفاده قرار گیرد (یانگ و همکاران ۱۹۹۲، یانگ ۱۹۹۵، کیم و همکاران ۲۰۰۱). روش‌های حل متنوعی برای حل مسئله برنامه‌ریزی دو سطحی پیشنهاد شده است. فیسک (۱۹۸۹) مدل بی‌نظمی بیشینه را با شرایط تعادلی ترکیب نمود و از فرمول‌بندی

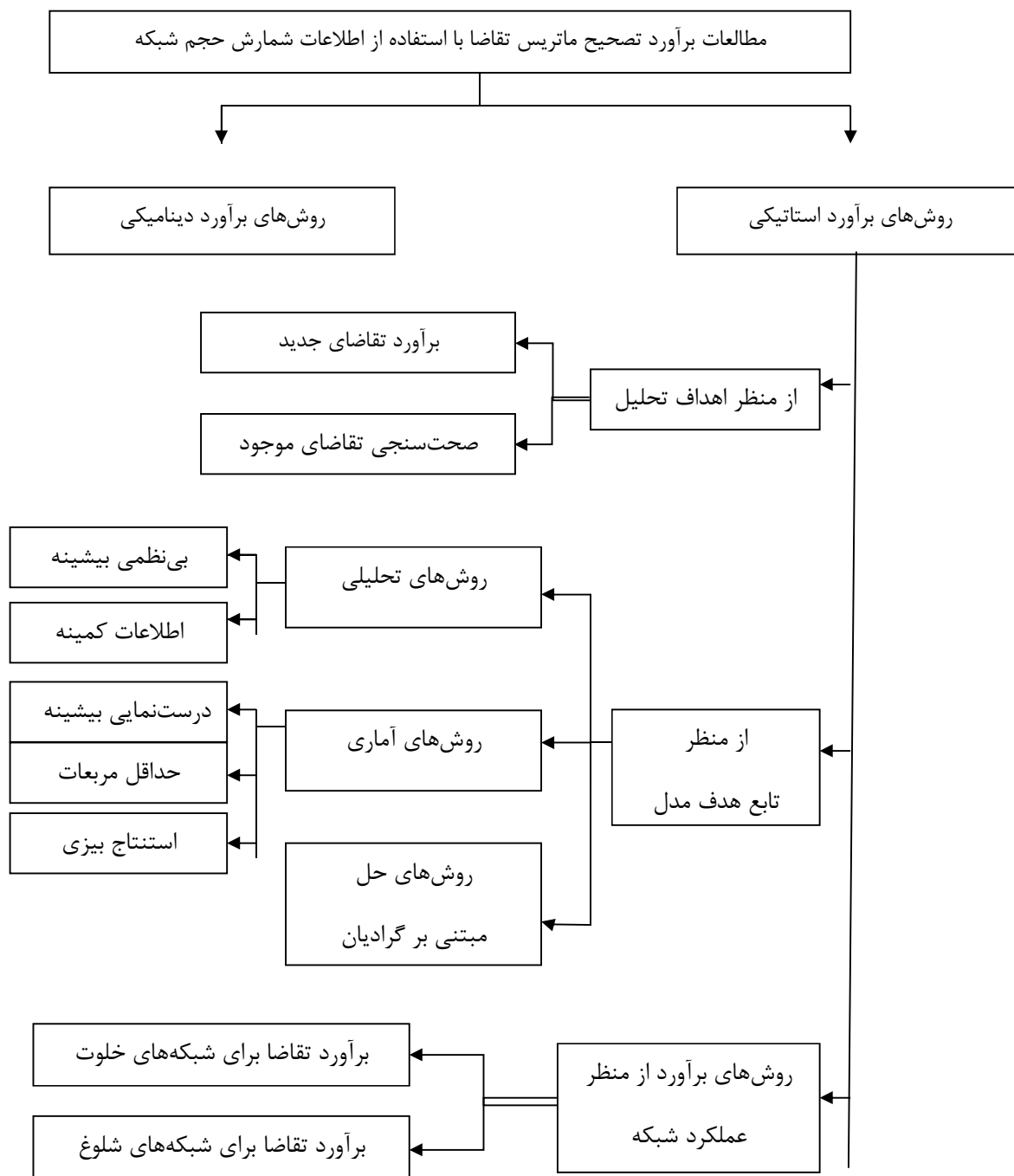
(۶)

(۷)

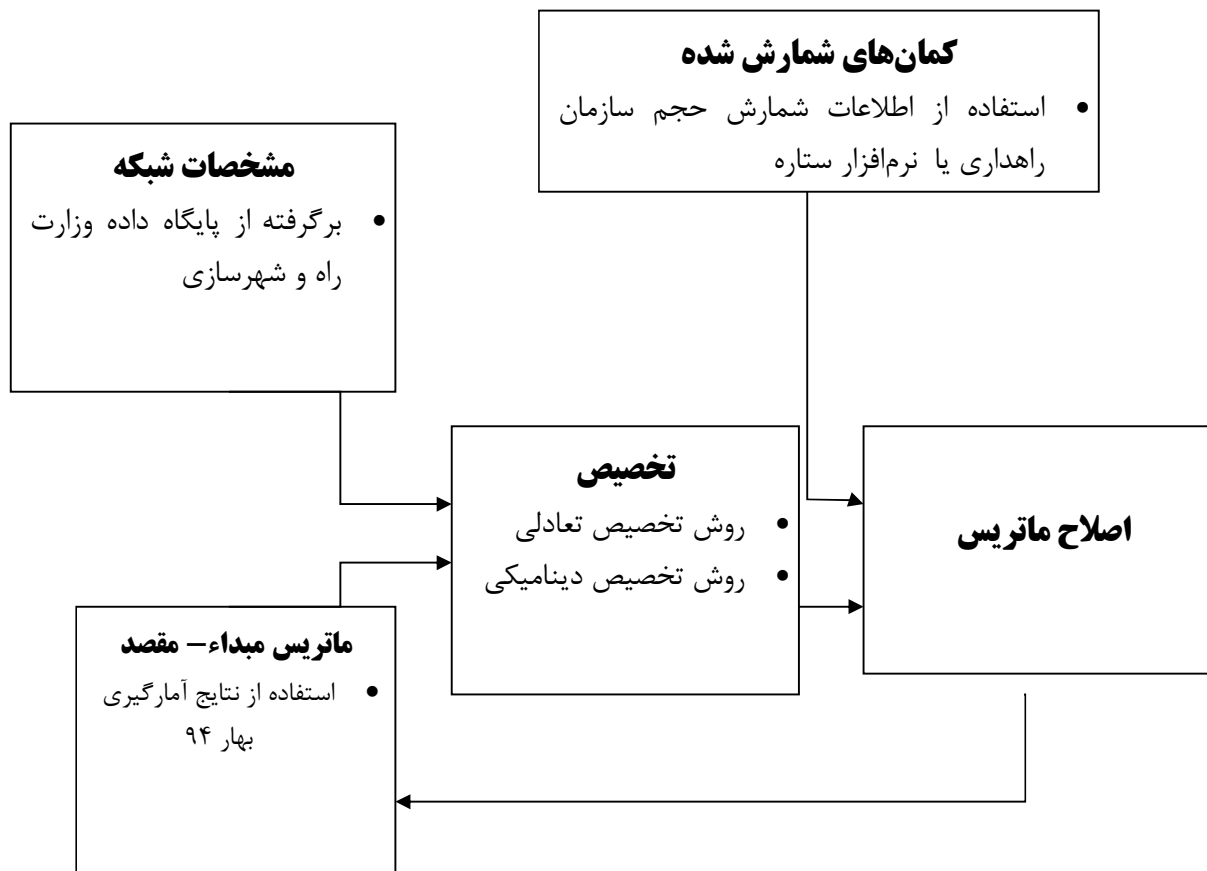
که در این رابطه تابع $\text{assign}(x)$ برای نگاشت ماتریس تقاضای مبدا- مقصد X به جریان ترافیک کمان‌ها y استفاده شده است؛ L مجموعه کمان‌های شبکه و \tilde{y} بردار جریان ترافیک مشاهده شده؛ I نیز نشان کمان است. بعدها کاستا و پوستورینو (۲۰۰۱) ماهر و همکاران (۱۹۸۳) و یانگ و همکاران (۱۹۹۲، ۱۹۹۵، ۲۰۰۱) مدل‌هایی را ارائه کردند که با مدل‌های پیشین مبتنی بر فرض تعادل کاربر متفاوت بودند. یانگ و همکاران روشی ابتکاری پیشنهاد دادند که مسئله حداقل مربعات تعمیم یافته/ حداکثر بی‌نظمی را با یک مدل تخصیص تعادلی ترافیک در قالب یک مسئله بهینه‌سازی دو سطحی کوژ حل می‌کرد. یانگ این مسئله برنامه‌ریزی دو سطحی را با اضافه کردن تأثیر اندرکنش جریان کمان‌ها بسط داده و مدلی با الگوریتم ابتکاری اصلاح شده ارائه کرد. کیم و همکاران (۲۰۰۱) در مدل ارائه شده توسط یانگ و همکارانش (۱۹۹۲) کنکاش بیشتری انجام دادند و مدل جایگزینی را ارائه کردند که در سطح بالایی خود به کمک

(۸)

که در آن x^H و \hat{x} به ترتیب تقاضای تاریخی تقاضای برآورد شده، \tilde{y} بردار شمارش حجم کمان‌ها، A ماتریس تخصیص و F_1 و F_2 توابع سنجش فاصله هستند. برای حل مسئله برآورد تقاضای مبدا- مقصد نقطه ثابت، رویکردهای تکراری براساس روش میانگین‌های متوالی به کار گرفته شده است. در هر تکرار، برآوردکننده ترتیبی بر پایه کمینه مربعات تعمیم یافته برای ایجاد تقاضای به‌روز شده استفاده شده است.



شکل ۲. طبقه‌بندی‌های مختلف مطالعات برآورد ماتریس تقاضا با استفاده از اطلاعات تردد شماری ترافیک



شکل ۳. چارچوب و الگوی تخمین ماتریس مبدا - مقصد با اطلاعات شمارش حجم کمان‌ها

مدل‌های تخمین‌گر می‌توان به سه دسته کلی روش‌های تحلیلی، روش‌های آماری و روش‌های حل مبتنی بر گرادینان تقسیم نمود که با توجه به ماهیت شبکه‌های درون q هری (شلوغ) و شبکه‌های بیرون‌شهری (خلوت) می‌توان در مطالعات حمل و نقلی از آن‌ها استفاده کرد.

۵- مراجع

-ذکایی آشتیانی، ه. و محمودآبادی، م.، (۱۳۸۰)، "تصحیح ماتریس مبدا - مقصد با اطلاعات شمارش حجم (مطالعه مورد شهر مشهد)", نشریه علمی امیرکبیر، (۲) ۲۵، ص. ۱۴۹-۱۶۲.

-فورچی، ن. (۲۰۰۹)، "تصحیح ماتریس تقاضا با استفاده از اطلاعات شمارش حجم برای شبکه حمل‌ونقل همگانی بر

۴- نتیجه‌گیری

تعیین میزان تقاضا و الگوهای مربوط به آن نقش مهمی در تحلیل یک سیستم ایفا می‌کند. در سیستم حمل‌ونقل اساس نمایش تقاضا و تحلیل‌های مربوط به آن بر پایه ماتریسی به نام ماتریس مبدا - مقصد بنا نهاده شده است. از آن‌جا که روش‌های مرسوم در دستیابی به این ماتریس که مبتنی بر انجام مصاحبه و آمارگیری در محل هستند، پرهزینه و وقت‌گیر بوده و موجبات مزاحمت برای مردم را در پی دارند، روش‌های ریاضی مبتنی بر آمار مشاهده شده (مانند شمارش حجم عبوری از معابر شبکه) روز به روز گسترش بیشتری پیدا می‌کنند در این مقاله به مرور برخی از پژوهش‌های انجام شده در موضوع برآورد ماتریس سفر با اطلاعات شمارش حجم کمان‌ها در شبکه‌های حمل‌ونقل پرداخته شد. روش‌های معرفی شده را با توجه به تابع هدف

- Transportation Research, Part B: Methodological 36: pp.837-850.
- Bosserhoff, D., (1985), "Statische Verfahren zur Ermittlung von Quell-Ziel-Matrizen im öffentlichen Personennahverkehr", ein Vergleich, Dissertation, University of Karlsruhe.
- Cascetta, E., (1984), "Estimation of trip matrices from traffic counts and survey data: a generalized least squares estimator", Transportation Research, Part B: Methodological 18, pp.289-299.
- Cascetta, E. and Nguyen, S., (1988), "A unified framework for estimating or updating origin/destination matrices from traffic counts", Transportation Research, Part B: Methodological 22, pp.437-455.
- Cascetta, E. and Postorino, M. N., (2001), "Fixed point approaches to the estimation of O/D matrices using traffic counts on congested networks", Transportation Science 35, pp.134-147.
- Codina, E., Garcia, R. and Marin, A., (2006), "New algorithm alternatives for the O-D matrix adjustment problem on traffic networks", European Journal of Operational Research 175: pp.1484-1500.
- Erlander, S., Jornsten, K. O. and Lundgren, J. T., (1984), "On the estimation of trip matrices in the case of missing and uncertain data", Technical report LiTH-MAT-R-84-20, Department of Mathematics, Linköping University, Sweden.
- Fisk, C. S., (1988), "On combining maximum entropy trip matrix estimation with user optimal assignment", Transportation Research 22B.
- Fisk, C. S., (1989), "Trip matrix estimation from link traffic counts: the congested network case", Transportation Research 23B.
- Freidrich, M., Nokel, K. and Mott, P., (2000), "Keeping passenger surveys up-to-date; A fuzzy approach", Transportation Research Board, Washington, D.C.
- اساس تخصیص تکمیلی"، دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه صنعتی شریف.
- ماهپور، ع.ر. ممدوحی، الف.ر.، (۱۳۹۸)، اثرسنجی روش تخصیص ترافیک بر دقت نتایج تصحیح ماتریس مبدا- مقصد در روش جریان فازی ترافیک"، پژوهشنامه حمل و نقل، ۱۶(۳)، ص. ۹-۱.
- Ashok, K., (1996), "Estimation and prediction of time-dependent origin-destination flows", PhD thesis in transportation systems at the Massachusetts Institute of Technology.
- Balakrishna, R., (2006), "Off-line calibration of dynamic traffic assignment models", In partial fulfillment of the requirements for the degree of doctor of philosophy in transportation systems at the Massachusetts Institute of Technology.
- Bayer, J. L., (1998), "Estimation of origin-destination matrices using traffic counts- A literature survey", international institute for applied systems analysis, A-2361, Austria.
- Bell, M., (1991a), "The estimation of origin-destination matrices by constrained generalized least squares", Transportation Research, Part B: Methodological 25, pp.13-22.
- Bell, M., (1991b), "The real time estimation of origin-destination flows in the presence of platoon dispersion", Transportation Research 25B, pp.115-125.
- Bera, S., Krishna Rao, K. V., (2011), "Estimation of origin destination matrix from traffic counts: the state of the art", European transport n.49, 3-23.
- Bierlaire, M. and Toint, Ph. L., (1995), "MEUSE: an origin-destination matrix estimator that exploits structure", Transportation Research, Part B: Methodological 29, pp.47-60.
- Bierlaire, M., (2002), "The total demand scale: a new measure of quality for static and dynamic origin-destination trip tables",

- Transportation Research Board, Washington, D.C., pp.156-163.
- LeBlanc, L. J. and Farhangian, K., (1982), "Selection of a trip table which reproduces observed link flows", *Transportation Research* 16B.
- Li, B., (2005), "Bayesian inference for O-D matrices of transport networks using the EM algorithm", *Technometrics* 47(4), pp.399-408.
- Liu, S. and Fricker, J. D., (1996), "Estimation of a trip table and the Q parameter in a stochastic network", *Transportation Research, Part A: Policy and Practice* 30, pp.287-305.
- Lo, H., Zhang, N. and Lam, W., (1996) "Estimation of an origin-destination matrix with random link choice proportions: a statistical approach", *Transportation Research, Part B: Methodological* 30, pp.309-324.
- Lo, H. P., Zhang, N. and Lam, W. H. K., (1999), "Decomposition algorithm for statistical estimation of OD matrix with random link choice proportions from traffic counts", *Transportation Research, Part B: Methodological* 33, pp.369-385.
- Lo, H. P. and Chan, C. P., (2003) "Simultaneous estimation of an origin-destination matrix and link choice proportions using traffic counts", *Transportation Research, Part A: Policy and Practice* 37, pp.771-788.
- Lundgren, J. T. and Peterson, A., (2008), "A heuristic for the bilevel origin-destination matrix estimation problem", *Transportation Research, Part B: Methodological* 42, pp.339-354.
- Maher, M. J., (1983), "Inferences on trip matrices from observations on link volumes: a Bayesian statistical approach", *Transportation Research, Part B: Methodological* 17: 435-447.
- Nguyen, S., (1977), "Estimating an OD matrix from network data: a network
- Garcia, R. and Verastegui, D., (2008), "A column generation algorithm for the estimation of origin destination matrices in congested traffic networks", *European Journal of Operational Research* 184, pp.860-878.
- Gur, Y. J., Turnquist, G., Schneider, M., LeBlanc, L. and Kurth, D., (1980), "Estimation of an origin-destination trip table based on observed link volumes and turning movements", Technical report RD-801034, FHWA, U.S. Department of Transportation, Washington D.C.
- Hazelton, M. L., (2000), "Estimation of origin-destination matrices from link flows on uncongested networks", *Transportation Research, Part B: Methodological* 34, pp.549-566.
- Henn, V. (2001), "Fuzzy rout choice model for traffic assignment" *Fuzzy sets and systems*. No.116, pp.77-101.
- Hogberg, P., (1976), "Estimation of parameters in models for traffic prediction: a non-linear regression approach", *Transportation Research*, Vol. 10: 263-265.
- Jin, S., Xu-hong, Li., (2008), "Estimating the highway freight origin-destination matrix from multi-source data based on fuzzy programming theory", international workshop on modeling, simulation and optimization.
- Jornsten, K. and Nguyen, S., (1979), "On the estimation of a trip matrix from network data", Technical Report LiTH-MAT-R-79-36, Department of Mathematics, University of Linkoping, Linkoping, Sweden, (revised, April 1983).
- Jornsten, K. and Nguyen, S. (1983), "Estimation of an OD trip matrix from network data: dual approaches", Technical report LiTH-MAT-R-1983-10, Department of Mathematics, Linkoping University, Sweden.
- Kim, H., Beak, S. and Lim, Y., (2001), "Origin-destination matrices estimated with a genetic algorithm from link traffic counts", *Transportation Research Record* 1771,

- Sherali, H. D., Arora, N. and Hobeika, A. G., (1997), "Parameter optimization methods for estimating dynamic origin-destination trip-tables", *Transportation Research, Part B: Methodological* 31: pp.141-157.
- Sherali, H. D. and Park, T., (2001), "Estimation of dynamic origin-destination trip tables for a general network", *Transportation Research, Part B: Methodological* 35: pp.217-235.
- Sherali, H. D., Narayanan, A. and Sivanandan, R., (2003), "Estimation of origin-destination trip-tables based on a partial set of traffic link volumes", *Transportation Research, Part B: Methodological* 37, pp.815-836.
- Snickars, F. and Weibull, J. W., (1977), "A minimum information principle, theory and practice", *Regional Science and Urban Economics*, 7.
- Spiess, H., (1987) "A maximum-likelihood model for estimating origin-destination matrices", *Transportation Research, Part B: Methodological* 21, pp.395-412.
- Spiess, H., (1990), "A gradient approach for the O-D matrix adjustment problem", *EMME/2 Support Center*, CH-2558 Aegerten, Switzerland, <http://www.spiess.ch/emme2/demadj/demadj.html>.
- Teodorovic, D., (1999), "Fuzzy logic systems for transportation engineering: the state of the art", *Transportation Research, Part A: Policy and Practice* 33, pp.337-364.
- Van der Zijpp, N. J. and Lindveld, C. D. R., (2001), "Estimation of origin-destination demand for dynamic assignment with simultaneous route and departure time choice", *Transportation Research Record* 1771, *Transportation Research Board*, Washington, D.C. pp. 75-82.
- Van Zuylen, J. H., (1978), "The information minimizing method: validity and applicability to transport planning", In: *New Developments in Modelling Travel Demand equilibrium approach*", Publication No. 87, *Center de recherche sur les transports, Universite de Montreal, Montreal, Quebec H3C 3J7*.
- Nguyen, S., (1984), "Estimating origin-destination matrices from observed flows", *Transportation Research*. 17B.
- Ortúzar, J. D., Willumsen, L. G., (2011), "Basic sampling theory. In *Modelling Transport*", Wiley, Chichester.
- Reddy, K. H. and Chakroorty, P., (1998), "A fuzzy inference based assignment algorithm to estimate O-D matrix from link volume counts", *Comput., Environ. and Urban Systems*, Vol. 22, No. 5, pp.409-423.
- Ren, J. and Rahman, A., (2009), "Automatically Balancing Intersection Volumes in A Highway Network", *12th TRB Transportation Planning Application Conference*.
- Robillard, P., (1975) "Estimating the O-D matrix from observed link volumes", *Transportation Research*, Vol. 9, pp.123-128.
- Rosinowski, J., (1994), "Entwicklung und Implementierung eines ÖPNV-Matrixkorrekturverfahrens mit Hilfe von Methoden der Theorie unscharfer Mengen (Fuzzy-Sets-Theorie)", *Master thesis, University of Karlsruhe*.
- Shafahi, Y., Faturechi, R., (2009), "A Practical OD matrix estimation model based on Fuzzy set theory for large cities", *23rd European Conference on Modelling and Simulation*.
- Sheffi, Y., (1984), "Urban transportation networks: Equilibrium analysis with mathematical programming methods", Prentice-Hall.
- Sherali, H. D., Sivanandan, R. and Hobeika, A. G., (1994), "A linear programming approach for synthesizing origin-destination trip tables from link traffic volumes", *Transportation Research, Part B: Methodological* 28, pp.213-233.

- destination trip matrix estimated from traffic counts”, *Transportation Research, Part B: Methodological* 25, pp.351-363.
- Yang, H., Sasaki, T., Iida, Y. and Asakura, Y., (1992), “Estimation of origin-destination matrices from link traffic counts on congested networks”, *Transportation Research, Part B: Methodological* 26, pp.417-433.
- Yang, H., Sasaki, T. and Iida, Y., (1994), “The Equilibrium-based origin-destination matrix estimation problem”, *Transportation Research, Part B: Methodological* 28, pp. 23-33.
- Yang, H., (1995), “Heuristic algorithms for the bi-level origin-destination matrix estimation problem”, *Transportation Research, Part B: Methodological* 29: pp.231-242.
- Yang, H. and Zhou, J., (1998), “Optimal traffic counting locations for origin-destination matrix estimation”, *Transportation Research, Part B: Methodological* 32, pp.109-126.
- Yang, H., Meng, Q. and Bell, M. G. H., (2001), “Simultaneous estimation of the origin-destination matrices and travel-cost coefficient for congested networks in stochastic user equilibrium”, *Transportation Science* 35: pp.107-123.
- Yang, C., Chootinan, P. and Chen, A., (2003), “Traffic counting location planning using genetic algorithm”, *Journal of the Eastern Asia Society for Transportation Studies*, Vol.5: pp.898-913.
- Yang, H., Yang, C. and Gan, L., (2006), “Models and algorithms for the screen line-based traffic-counting location problems”, *Computers & Operations Research* 33, pp.836-858.
- Yousefikia, M., Mamdoohi, A.R., Moridpour, S., Noruzoliaee, M.H. and Mahpour, A., (2013), “A study on the generalized T Flow Fuzzy OD estimation”, In *Proceedings of Australasian Transport Research Forum 2013*, Brisbane, Australia.
- Zhou, H., Liu, W. and Li, L., (2008), “Estimation of origin-destination matrix from uncertain link counts using mixed intelligent algorithm”, *International conference on intelligent computation technology and automation*.
- and *Urban Systems* (edited by G. R. M. Jansen et al).
- Van Zuylen, J. H. and Willumsen L. G., (1980), “The most likely trip matrix estimated from traffic counts”, *Transportation Research, Part B: Methodological* 14, pp.281-293.
- Van Zuylen, J. H. and Branston, D. M., (1982), “Consistent link flow estimation from counts”, *Transportation Research, Part B: Methodological* 16, pp.473-476.
- Vortisch, P. Mohl, P., (2003), “Traffic State Estimation in the Traffic Management Center of Berlin”, *Transportation Research Board 2003 annual meeting*.
- Willumsen, L. G., (1978), “Estimation of O-D matrix from traffic counts: a review”, *Working Paper 99*, Institute for Transport Studies, University of Leeds.
- Willumsen, L. G., (1981), “Simplified transport models based on traffic counts”, *Transportation* 10, pp.257-278.
- Wilson, A. G., (1970), *Entropy in Urban and Regional Modeling*, Methuen, Inc., New York.
- Xie, C., Kockelman, K. M., Waller, S. T. (2010), “A maximum entropy Method for origin-destination trip matrix estimation”, *Transportation Research Record, Journal of Transportation Research Board*, Washington.
- Xie, C., Kockelman, K. M., Waller, S. T. (2011), “maximum entropy-least squares estimator for elastic origin-destination matrix estimation”, *Transportation Research, Part B: Methodological* 45, pp.1465-1482.
- Xu, W. and Chan, Y., (1993a), “Estimating an origin-destination matrix with fuzzy weights. Part 1: Methodology”, *Transportation Planning and Technology* 17, pp. 127-144.
- Xu, W. and Chan, Y., (1993b), “Estimating an origin-destination matrix with fuzzy weights. Part 2: Case Studies”, *Transportation Planning and Technology* 17, pp.145-164.
- Yang, H., Iida Y. and Sasaki T., (1991), “An analysis of the reliability of an origin-

Classification of Methods for Estimating the Origin-Destination Matrix with Link Volume Counts Data in the Congested and Uncongested Roads

Alireza Mahpour, Assistant Professor, Faculty of Civil, Water and Environmental Engineering, Shahid Beheshti University, Tehran, Iran.

Abdolreza Rezaeei Arjroudi M.Sc., Grad., Road, Housing & Urban Development, Tehran, Iran.

E-mail: a_mahpour@sbu.ac.ir

Received: June 2019-Accepted: February 2020

ABSTRACT

Form of the source-destination matrix Conventional approaches to accessing this matrix An essential input to the transportation planning process is the amount of travel demand in the directly, based on interviews and surveys in specific locations, are costly and time consuming. Hence, for the sake of mathematical methods based on intuitive statistics such as the volume of traffic in the network passages are becoming more and more popular in transportation studies. These methods are defined by having a source-primary-destination matrix as well as the current traffic flow information observed in a number of network paths, resulting in matrix estimation with the least distance from the primary matrix. , When allocated to the network, reproduce the observed volumes. Because conventional methods of obtaining this matrix that are based on interviewing and surveying are expensive, time consuming and annoying to people, the mathematical methods based on the observed statistics (such as the volume of network passage counts)) Are expanding day by day. In this research, the source-destination matrix estimation methods can be divided into crowded and backbone networks in terms of network performance and the characteristics of each are presented.

Keywords: Origin-Destination Matrix Estimation Methods, Uncongested Networks, Classification