دانشگاه صنعتی اصفهان

دانشکده مهندسی عمران

تخمین ماتریس مبداء-مقصد با استفاده از اطلاعات حجم ترافیک کمان‌های شمارش شده

پایان‌نامه کارشناسی ارشد مهندسی عمران- راه و ترابری

محمد پویان‌مهر

استاد راهنما

دکتر سید نادر شتاب بوشهری

۱۳۹۰

حمد و سپاس بی پایان خدای را که مرغ دور پرواز اندیشه را یارای پرکشیدن تا قاف قربتش نیست.

در ابتدا بر خود لازم می‌دانم تا از استاد گرامی خود جناب آقای دکتر شتاب بوشهری به خاطر زحمات بی‌دریغشان کمال تشکر را نمایم.

همچنین از استاد ارجمند جناب آقای دکتر ابطحی تشکر و قدردانی می‌نمایم.

در پایان از همگی دوستانم به خصوص آقای مهندس سید حامد محمودآبادی، آقای مهندس هادی تقی‌نژاد و آقای مهندس ابوالفضل دوست‌پرست به پاس کمک و یاریشان در انجام این پژوهش نهایت سپاس را دارم.

تقدیم به:

پدر و مادر عزیزم

که هرچه دارم از زحمات

بی‌دریغ آن‌هاست ؛

و همسر عزیزم

که در همه حال صبورانه

در کنارم می‌باشد.

فهرست مطالب

عنوان	صفحه
فهرست مطالب	هشت
چکیده	۱
فصل اول : مقدمه	
۱-۱- مقدمه	۲
۱-۲- تعریف مسئله	۳
فصل دوم : مروری بر تحقیقات گذشته	
۲-۱- مقدمه	۹
۲-۲- روش‌های مدل کردن ترافیک	۱۰
۲-۳- تخمین ماتریس مبداء-مقصد برای شبکه‌های بزرگ و شلوغ	۱۵
۲-۴- بررسی روش‌های تخمین ماتریس مبداء-مقصد چند وسیله‌ای	۲۰
۲-۵- تعیین تعداد و محل شمارش ترافیک	۲۳
۲-۶- بررسی روش گرادیان اسپایس	۲۵
فصل سوم : ارائه مدل جدید	
۳-۱- مقدمه	۳۳
۳-۲- معرفی روش پیشنهادی	۳۳
۳-۳- چگونگی تعیین ماتریس جزیی d	۳۴
فصل چهارم : بررسی روش ابتکاری و مقایسه آن با روش گرادیان اسپایس	
۴-۱- مقدمه	۳۹
۴-۲- بررسی روش ابتکاری و روش گرادیان اسپایس در شرایط ویژه	۳۹
۴-۲-۱-روش ابتکاری	۴۰
۴-۲-۲- روش گرادیان	۴۲
۴-۳- بررسی عملکرد روش ابتکاری و روش گرادیان اسپایس برای تخمین ماتریس مبداء - مقصد	۴۳
۴-۳-۱-تخمین ماتریس تقاضا برای یک شبکه حمل و نقل کوچک	۴۵
۴-۳-۲-تخمین ماتریس تقاضا برای شبکه حمل و نقل سایوکس فالز	۴۹
۴-۳-۲-بررسی مدت زمان همگرایی روش ابتکاری به سمت جواب واقعی	۵۲

فصل پنجم : نتیجه‌گیری و پیشنهادات

۵-۱- نتیجه‌گیری ۵۵
۵-۲- پیشنهادات ۵۶
پیوست ۱ : اثبات رابطه ماتریس جزیی برای همه توابع هدف ارائه شده برای روش ابتکاری ۵۷
پیوست ۲ : مشخصات شبکه حمل و نقل سایوکس فالز ۶۸
مراجع ۷۵

چکیده

فرایند پیش بینی سفر یکی از پرکاربرد ترین قسمت های برنامه ریزی حمل و نقل است. این فرایند در برنامه ریزی حمل و نقل با توجه به اطلاعات موثر و آنالیز دقیق می تواند بعنوان یک شاخص پیش بینی برای توسعه آینده بکار گرفته شود. اطلاعات مورد نیاز جهت پیش بینی سفر در ماتریسی به نام ماتریس مبداء- مقصد ذخیره می‌شود. در واقع این ماتریس اطلاعات مبداء-مقصد شبکه حمل و نقل را در بر دارد و با استفاده از دو روش مستقیم و غیر مستقیم بدست می‌آید. روش‌های مستقیم جمع آوری اطلاعات جهت تشکیل ماتریس مبداء-مقصد، اطلاعات را به صورت مستقیم در مبداء سفر، مقصد سفر و در حین انجام سفر با سوال از مسافران و یا مشاهده انجام سفرها به دست می‌آورند. از آنجایی که بدست آوردن ماتریس مبداء-مقصد با استفاده از روش‌های مستقیم بسیار پرهزینه و و زمانبر است، بنابراین استفاده از این روش‌ها همواره مقرون بصرفه نیست. روش‌های غیر مستقیم سعی بر آن دارند که ماتریس‌های مبداء-مقصد بدست آمده از روش-های مستقیم برای سال‌های گذشته را با داشتن حجم ترافیک تعدادی از کمان‌های شبکه و با استفاده از روش‌های ریاضی برای سال جاری تخمین بزنند. این روش‌ها بصورت مسائل برنامه ریزی ریاضی مطرح می‌شوند. از دهه ۷۰ میلادی تا به امروز روش های غیر مستقیم بسیاری توسعه پیدا کرده‌اند. در این پژوهش روش‌های تخمین ماتریس مبداء-مقصد با استفاده از شمارش ترافیک تعدادی از کمان‌ها مورد بررسی قرار گرفتند، و از میان آن‌ها یکی از پرکاربردترین روش‌ها تحت عنوان روش گرادیان اسپایس انتخاب شد.

همچنین در این پژوهش مدلی جهت تخمین ماتریس تقاضا با استفاده از شمارش ترافیک تعدادی از کمان‌ها ارائه گردید. این مدل از ایده روش تخصیص جزیی استفاده می‌کند. روش تخصیص جزیی ماتریس مبداء-مقصد را به صورت جزیی و به مرور به شبکه حمل و نقل تخصیص می‌دهد، در حالی که روش تخمین ارائه شده در این پژوهش عکس روش تخصیص جزیی عمل می‌کند، به گونه‌ای که در هر مرحله ماتریسی را تخمین می‌زند که حجم کمان‌های شمارش شده را به مرور بازتولید کند. از آنجایی که در تخمین ماتریس تقاضا با استفاده از شمارش ترافیک تعدادی از کمان‌ها، تعداد مجهولات (تعداد المان‌های ماتریس مبداء-مقصد) بیشتر از تعداد معلومات (تعدادکمان‌های شمارش شده) می‌باشد، بنابراین می‌توان تعداد زیادی ماتریس یافت که درصورت تخصیص به شبکه، حجم کمان‌های شمارش شده را به خوبی بازتولید کنند. همینطور از آنجایی که ماتریس قدیمی برای این شبکه وجود دارد و این ماتریس ساختار کلی سفرهای بین مبداء-مقصدها را در بر دارد بنابرای مقید ماندن ماتریس تخمین زده شده به ماتریس قدیمی یک فرض منطقی می‌باشد. در روش پیشنهادی می‌توان با تعریف اهدافی ماتریس تخمین زده شده را به ماتریس قدیمی مقید کرد به گونه‌ای که ماتریس منحصر به فرد و قابل اعتمادی بدست آید. همچنین روش پیشنهادی قادر به استفاده از اطلاعات اضافی شبکه نظیر مقادیر تولید و جذب سفر هر ناحیه می-باشد. این اطلاعات به مدل پیشنهادی در تخمین دقیقتر ماتریس تقاضا کمک شایانی می‌کنند.

جهت بررسی کارایی روش پیشنهادی و روش گرادیان اسپایس از تحلیل ریاضی و مثال‌هایی برای شبکه‌های کوچک و بزرگ در نظر گرفته شد. نتایج بررسی‌ها نشان می‌دهند که در شرایطی که اطلاعات اضافی برای شبکه مورد مطالعه موجود باشد، بدون شک روش پیشنهادی جواب‌های دقیقتر و قابل اعتمادتری ارائه می‌کند. در صورت عدم وجود اطلاعات اضافی، ماتریس تخمین زده شده با استفاده از روش ابتکاری تفاوت چندانی با ماتریس حاصل از روش گرادیان اسپایس ندارد.

کلمات کلیدی: ماتریس مبداء-مقصد، مسئله برنامه ریزی ریاضی، شبکه حمل و نقل ، الگوریتم ابتکاری.

فصل اول

مقدمه

۱-۱- مقدمه

رشد و توسعه جوامع شهری، سبب افزایش نیاز این جوامع به خدمات همگانی و اجتماعی شده است. انجام بسیاری از فعالیتهای اجتماعی و اقتصادی نیازمند تسهیلات حمل و نقلی است. این موضوع، لزوم توجه به برنامه ریزی صحیح در حیطه حمل و نقل را مورد تاکید قرار می‌دهد. امروزه بخش حمل و نقل همانند بسیاری از بخش های اقتصادی- اجتماعی دیگر نیاز به طراحی و برنامه ریزی دارد. عدم برنامه ریزی صحیح بخش حمل و نقل می تواند خسارات بسیاری را بر روی توسعه شهر، منطقه و حتی یک کشور داشته باشد. بعنوان مثال در ترافیک شهری مشکلات عدیده و محسوسی وجود دارد که لزوم برنامه ریزی را نمایان می‌کند. خیابان های شلوغ ، راه بندان ها، آلودگی هوای شهرها، منظر زشت شهر، تصادف‌های ترافیکی و خسارت های مالی و جانی حاصل از تصادف ها، بهم خوردن نظم و آرامش مراکز مسکونی و درمانی، ایجاد استرس و فشار روحی، اشکال در دسترسی مناطق مختلف و غیره. همه این موارد لزوم برنامه ریزی حمل و نقل را در سطح شهری و برون شهری روشن می‌سازد.

۱-۲- تعریف مسئله

در مباحث مربوط به حمل و نقل، منظور از برنامه ریزی، فرآیند یا فعالیتی است که طی آن اقدامات لازم احتمالی برای آینده جهت سوق دادن یک مجموعه یا سیستم حمل و نقلی به سوی یک وضعیت دلخواه مورد بررسی قرار می‌گیرد. وضعیت دلخواه یاد شده می‌تواند دستیابی به یکسری اهداف مثبت در آینده و یا پیشگیری از ایجاد مسائل و مشکلات در آینده را شامل گردد. این فرایند در نهایت منجر به اتخاذ تصمیم و سپس انجام اقدامات موثر در راستای تحقق و حصول اهداف و وضعیت دلخواه می‌گردد.

مهمترین موضوعی که در برنامه ریزی حمل و نقل وجود دارد، ارتباط آن با آینده و بعبارت دیگر آینده نگری در آن است. زیرا یک فعالیت برنامه ریزی مربوط به اقداماتی است که در زمان های مختلف در آینده انجام خواهد گرفت و بین زمان انجام اقدام و زمانی که نتایج و تاثیرات آن احساس می‌شود، ممکن است یک فاصله زمانی نسبتاً طولانی وجود داشته باشد. این فاصله به عوامل زیادی از قبیل موضوع و مقادیر کمی و کیفی اقدام مورد نظر بستگی دارد.

فرایند پیش بینی سفر یکی از پرکاربرد ترین قسمت‌های برنامه ریزی حمل و نقل است. این فرایند مختص برنامه ریزی حمل و نقل شهری و برون شهری بوده و بکارگیری آن در برنامه ریزی حمل و نقل با توجه به اطلاعات موثر و آنالیز دقیق می تواند بعنوان یک شاخص پیش بینی برای توسعه آینده بکار گرفته شود. فرایند پیش بینی سفر دارای یک ساختار عمومی است که بر اساس تجربه و آزمایش بدست آمده است و در واقع ساختار کلی این مدل نتیجه تجربیات و مطالعات دهه ۶۰ میلادی بوده که در دهه های بعد هم تغییر چندانی نکرده است.

فرایند ارزیابی پروژه های حمل و نقل چهار مرحله می‌باشند که عبارتند از: تولید سفر، توزیع سفر، تفکیک گونه و یا نوع وسیله سفر و تخصیص سفر (احتصاص ترافیک به مسیرهای موجود در شبکه حمل و نقل)[۱]. در این فرایند ابتدا می‌بایست مرز منطقه مورد مطالعه مشخص شود و نواحی مربوط به آن طراحی گردند. سپس برای هر ناحیه می بایست جمعیت، وضعیت اجتماعی- اقتصادی، تجهیزات و کاربری ها، و ... بدست آیند. در اولین مرحله (تعین سفرهای تولید شده)، با استفاده از اطلاعاتی که در ادامه این بخش نحوه اتخاذ آنها تشریح خواهند شد، مدلی برای پیش بینی و تخمین تعداد کل سفرهای تولید شده بوسیله هر ناحیه ساخته می‌شود. در مرحله بعد (توزیع سفر)، سفرها به مقاصد تعیین شده تخصیص می‌یابند و این عمل موجب ایجاد ماتریس مبداء-مقصد می‌شود. قدم سوم مربوط به مدلسازی انتخاب وسیله سفر و یا تفکیک گونه سفر می‌باشد که در آن سفرهای ماتریس تقاضای مرحله قبل به گونه های مختلف سفر اختصاص می‌یابند. در مرحله چهارم، فرایند تخصیص سفر، مقادیر تقاضا میان هر زوج مبداء-مقصد را به مسیرهای مابین آنها تخصیص می‌دهد.

بطور کلی فرایند پیش بینی سفر بصورت دنباله ای از چهار مدل زیر مورد استفاده قرار می‌گیرد.

۱- مدل تولید سفر (تصمیم برای انجام سفر به منظور نیل به یک هدف مورد نظر)
۲- مدل توزیع سفر (انتخاب مقاصد سفرهای تولید شده از هر ناحیه)
۳- مدل انتخاب گونه سفر (انتخاب وسیله نقلیه برای انجام سفرها)
۴- مدل تخصیص سفر (انتخاب مسیر سفرها)

در تحلیل مسائل حمل و نقل شهری، مدل‌های یاد شده در بالا نقشی اساسی را برعهده دارند. این مدل ها معمولا با استفاده از اطلاعات ماتریسی به نام ماتریس مبداء- مقصد که هر یک از المان های موجود در آن میزان سفر از یک ناحیه مبداء به یک ناحیه مقصد را نشان می دهد، ساخت و پرداخت می‌گردند. روشهای جمع آوری اطلاعات مربوط به ماتریس مبداء-مقصد را می توان در دو دسته طبقه بندی نمود:

الف- روشهای مستقیم گردآوری اطلاعات: این روش‌ها خود به سه گروه قابل تقسیم است.

۱- روش‌های مشاهده ای: این گروه با مشاهده وضع ترافیک و برداشت اطلاعات لازم از این مشاهدات به برآورد حجم سفرهای مبداء-مقصد می‌پردازد.
۲- روش‌های پرسشنامه‌ای: پرسشنامه را در اختیار مسافر قرار می‌دهند و از او می خواهند مشخصات مربوط به گروهی از سفرهای خود را در آن نوشته و آن را باز گرداند.
۳- روش مصاحبه حضوری: با مسافر در مبداء سفر ، در زمان سفر یا در مقصد سفر مصاحبه می‌شود.

ب- روش‌های غیر مستقیم برای دست یابی به ماتریس تقاضا: از آنجایی که گرد آوری مستقیم اطلاعات مبداء-مقصد بسیار پر هزینه و زمان بر است، روش های غیر مستقیم برآورد اطلاعات مبداء-مقصد در چند دهه اخیر مورد توجه پژوهشگران قرار گرفته اند. این روش ها به دو گروه تقسیم می‌شوند:

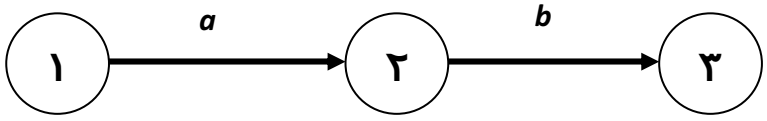
۱- بدست آوردن ماتریس‌های مبداء-مقصد به کمک مدل‌های پرداخت شده برای شهرهای مشابه. اشکال این روش آن است که ممکن است مدل‌های یاد شده برای شهر های مشابه ساخته نشده باشند.
۲- استفاده از مدل‌های برنامه ریزی ریاضی برای تخمین ماتریس های مبداء-مقصد از مشاهدات حجم ترافیک بر روی خیابان ها.

با توجه به این موضوع که اطلاعات ماتریس مبداء-مقصدی که از طریق روش های مستقیم بدست می‌آید ممکن است دارای خطاهای ناشی از آمارگیری و یا خطاهای ایجاد شده از مدل های حمل و نقلی باشد، اطلاعات ماتریس

یاد شده ممکن است دقیق نباشد. یکی از کارهایی که در جهت افزایش دقت اطلاعات ماتریس‌های مبداء-مقصد می توان انجام داد، تصحیح این ماتریس با استفاده از اطلاعات واقعی حجم ترافیک در خیابان های شبکه (یعنی روش غیر مستقیم دوم) است. همچنین به دلیل هزینه بالای جمع آوری اطلاعات مربوط به تقاضای سفر به روش های مستقیم، جمع آوری اینگونه اطلاعات در فواصل کوتاه زمانی میسر نمی‌باشد. لذا می‌توان برای به روز کردن یک ماتریس مبداء-مقصد قدیمی، آن را به کمک اطلاعات مربوط به حجم خیابان ها که در زمان حال از سطح شبکه بدست آمده است، تصحیح نمود. با این کار هزینه جمع آوری اطلاعات تقاضا به شدت کاهش می‌یابد.

فرض کنید اطلاعات ترافیکی (جریان وسایل نقلیه) تعدادی از کمان ها در دوره زمانی خاصی (مانند ساعت اوج یا میانگین روزانه) موجود باشد. مسئله تخمین ماتریس مبداء-مقصد در پی ماتریسی است که در صورت تخصیص آن به شبکه، جریان ترافیک کمان هایی که حجم وسایل نقلیه در آن ها موجود است را باز تولید کند.

اگر تنها از اطلاعات تعدادی از کمان ها جهت تخمین ماتریس مبداء-مقصد استفاده شود این امکان وجود دارد که بیش از یک ماتریس قادر به باز تولید حجم کمان های مورد نظر وجود داشته باشد و ماتریس منحصر به فردی حاصل نشود. این مطلب را می‌توان با استفاده از یک مثال ساده نشان داد. شبکه نشان داده شده در شکل (۱-۱) را در نظر بگیرید. این شبکه دارای دو زوج مبداء-مقصد (۱,۳) و (۲,۳) می‌باشد. در صورتیکه حجم شمارش شده برای کمان b برابر با ۱۰ باشد، آنگاه تعداد زیادی از ماتریس‌های تقاضا هستند که می‌توانند این حجم را باز تولید کنند. برای مثال $(T_{۱۳}=۵, T_{۲۳}=۵)$ ، $(T_{۱۳}=۴, T_{۲۳}=۶)$ ، $(T_{۱۳}=۶, T_{۲۳}=۴)$ و غیره. همه این ترکیبات برای زوج مبداء-مقصدها، قادر به تولید مقدار ۱۰ برای کمان b می‌باشند.



شکل ۱-۱- شبکه کوچک برای اثبات وجود ماتریس‌های چندگانه

به عبارت دیگر به دلیل اینکه در اغلب اوقات تعداد زوج مبداء-مقصدها (مجهولات) بیشتر از تعداد کمان‌های شمارش شده (معلومات) می‌باشد، بنابراین مسئله تخمین ماتریس مبداء-مقصد با استفاده از اطلاعات حجم کمان‌های شبکه دارای جواب چندگانه است.

برای حل این مشکل و همچنین برای اینکه ماتریس تقاضای مطمئنی بدست آید منبع اطلاعات دیگری به نام ماتریس اولیه (ماتریس قدیمی) در صورت وجود مورد استفاده قرار می‌گیرد. این ماتریس می‌تواند حاوی اطلاعات تقاضای سفر سال‌های گذشته همان منطقه باشد و یا ماتریسی است که با استفاده از روش‌های مستقیم بدست آمده است و نیاز

به تصحیح دارد. بدلیل اینکه ماتریس اولیه حاوی داده هایی است که ساختار حمل و نقل شبکه مورد مطالعه را در اختیار قرار می‌دهد، بنابراین کاملاً منطقی می‌باشد که ماتریس تخمین زده شده از ماتریس اولیه پیروی کند و اختلاف چشمگیری در المان های آنها وجود نداشته باشد. شکل کلی مسئله تخمین ماتریس مبدا–مقصد بصورت زیر بیان می-شود [۲]:

$$\min F(T,v) = \gamma_1 F_1(T,T^b) + \gamma_2 F_2(v,\hat{v})$$
$$s.t. \quad v = assign(T) \qquad (۱-۱)$$
$$T \in S$$
$$v,T \geq 0$$

T : ماتریس تقاضای سفر،

T^b: ماتریس تقاضای سفر اولیه (قدیمی)

F_1 : اختلاف بین ماتریس مبداء–مقصد اولیه و ماتریس تخمین زده شده

F_2 : اختلاف بین حجم وسایل نقلیه شمارش شده و بر آورد شده،

γ_1: ضریب تاثیر F۱،

γ_2 : ضریب تاثیر F۲،

v: بردار حجم جریان های برآورد شده از تخصیص تقاضای سفر T به شبکه،

$\hat{v}$: بردار حجم جریان های مشاهده شده در کمان های شبکه،

S : مجموعه ماتریس های مبدا– مقصد.

اگر ماتریس اولیه قابل اعتمادتر از حجم جریان های مشاهده شده در کمان ها باشد آنگاه γ_1 بزرگتر از γ_2 در نظر گرفته می‌شود و در غیر اینصورت γ_2 را بزرگتر از γ_1 در نظر می گیرند. بعبارت دیگر در صورتی که هدف نزدیک کردن ماتریس تخمین زده شده به ماتریس اولیه باشد، γ_1 را بزرگتر درنظر می گیرند و اگر هدف باز تولید هرچه بهتر حجم جریان های مشاهده شده هر کمان باشد آنگاه γ_2 را بزرگتر در نظر می‌گیرند[۲].

همانگونه که در مسئله تخمین ماتریس مبداء–مقصد ملاحظه می‌گردد یکی از نکات مهم در تخمین ماتریس مبداء–مقصد با استفاده از شمارش ترافیک، روش تخصیص ترافیک مورد استفاده در روند تخمین ماتریس می باشد، بطوری

که کاستتا و نگوین [۳]، پیچیدگی محاسباتی یک مدل تخمین ماتریس مبداء-مقصد را به روش تخصیص ترافیک مورد استفاده وابسته می دانند. بطور کلی روش های تخصیص به دو دسته تقسیم می‌شوند [۲]:

الف- تخصیص نسبی: در این حالت فرض بر عدم وابستگی بین حجم کمان ها و نسبت تردد کمان ها می‌باشد. حجم کمان ها نسبتی از جریان وسایل نقلیه بین زوج مبداء-مقصدها می‌باشد. نسبت سفرهایی که از یک مسیر انجام می شود به شلوغی شبکه وابسته نخواهد بود بلکه به ویژگی های سفر و مسیر وابسته خواهد بود. روش "همه یا هیچ" یکی از این نوع روش ها می‌باشد. در این روش برای همه زوج مبداء-مقصدها، همه ترافیک به مسیر یا مسیرهای با کمترین هزینه تخصیص داده می‌شود.

ب- تخصیص تعادلی: باید توجه داشت که تاثیرات شلوغی در شبکه بسیار مهم است. تخصیص تعادلی این نکته را لحاظ می‌کند و در نتیجه نسبت به روش تخصیص نسبی روش واقع گرایانه تری است. روش های تخصیص تعادلی سعی در ارضاع اصل اول واردراپ دارند؛ این اصل بیان می‌کند که " یک سیستم حمل و نقل در تعادل است، وقتی که هیچ استفاده کننده ای نتواند هزینه سفر کمتری برای رفتن از یک مسیر دیگر بپردازد".

روش تخصیص تعادل استفاده کننده یکی از پر کاربرد ترین روش های تخصیص تعادلی می‌باشد و بصورت مسئله بهینه سازی زیر تعریف می‌شود:

$$min\, Z = \sum_{a \in A} \int_{0}^{v_a} t_a(v)\, dv \ ,$$

$$s.t. \sum_{k \in K_{ij}} h_{ijk} = T_{ij} : \forall ij \in I \qquad (۲-۱)$$

$$v_a = \sum_{ij \in I} \sum_{k \in K} \delta_{ijk}^{a}\, h_{ijk} \quad , \forall a \in A$$

$$h_{ijk} \geq ۰ : \forall k \in K \qquad , \forall ij \in I$$

$$v_a \geq ۰ : a \in A$$

بطوریکه $t_a(v)$ تابع زمان سفر کمان a با حجم ترافیک v ، I مجموعه زوج مبداء-مقصدهای شبکه حمل نقل ، K_{ij} مجموعه مسیرهای بین زوج مبداء-مقصد (i,j) ، A مجموعه کمان‌های شبکه می‌باشد. h_{ijk} جریان ترافیک در مسیر $k \in K_{ij}$ ، v_a حجم ترافیک در کمان a ، T_{ij} یکی از المان های ماتریس تقاضا (T) می باشد، که نشان

دهنده مقدار تقاضای سفر از مبداء i به مقصد j است و δ_{ijk}^{a} المان ماتریس وقوع می‌باشد، در صورتیکه کمان a در مسیر k بین زوج مبداء-مقصد (i,j) قرار گیرد مقدار آن یک و در غیر اینصورت مقدار آن صفر است.

هدف این پژوهش مطالعه روش‌های مختلف برای تخمین ماتریس مبداء-مقصد با استفاده از شمارش ترافیک و در نهایت ارائه روشی ابداعی جهت انجام این کار می‌باشد. این روش قابلیت بکارگیری در ارتباط با شبکه‌های بزرگ و شلوغ را دارا می‌باشد.

در ادامه این پژوهش در فصل دوم مروری بر پژوهش‌های پیشین انجام می‌گیرد و از میان روش‌های ارائه شده تا به امروز یکی از کاراترین و پرکاربردترین روش‌ها جهت مقایسه با روش پیشنهادی در این پایان نامه انتخاب می‌شود. در فصل سوم مدل پیشنهادی این پروژه جهت تخمین ماتریس تقاضا ارائه می‌شود که هدف از ارائه آن تخمین هرچه دقیقتر ماتریس تقاضای سفر می‌باشد. در فصل چهارم روش ابتکاری ارائه شده در فصل سوم به کمک روش انتخاب شده در فصل دوم و با استفاده از تحلیل‌های ریاضی و مثال‌های عددی مورد ارزیابی قرار می گیرد، و در نهایت در فصل پنجم نتایج این پژوهش به همراه ارائه پیشنهادات برای انجام تحقیقات بیشتر، ارائه می‌گردد.

فصل دوم

مروری بر تحقیقات گذشته

۲-۱- مقدمه

با توجه به اینکه ماتریس مبداء-مقصد یکی از ارکان اصلی در مدیریت معابر شهری و برون شهری می‌باشد لذا در چهار دهه اخیر تلاشهای بسیار جهت تعیین این ماتریس صورت گرفته است. همانگونه که در فصل اول ذکر شد، بدلیل زمانبر و هزینه بر بودن روشهای مستقیم تعیین ماتریس تقاضا، استفاده از روشهای غیر مستقیم که مهمترین آنها روش تخمین ماتریس تقاضا با استفاده از شمارش ترافیک می باشد اهمیت ویژه ای یافته اند.

روش‌های تخمین ماتریس مبداء-مقصد با استفاده از شمارش ترافیک کمان ها را می توان به دو دسته کلی تقسیم کرد. دسته اول، روش‌های مبتنی بر مفاهیم مدل کردن ترافیک[۱] می‌باشند. این روش ها شامل، مدل ماکسیمم انتروپی[۲] و مدل‌های ترکیبی تخصیص- توزیع[۳] می‌باشند. تخمین ماتریس مبداء-مقصد با حل مستقیم (F_1، مقدار انتروپی) یا با تخمین پارامترهای مدل‌های ترکیبی انجام می‌گیرد. دسته دوم، روش های استنتاج آماری[۴]، شامل روش ماکسیمم احتمال[۵]، روش عمومی حداقل مربعات[۱] و روش های استنتاج بیزین[۲] می‌باشند. در این دسته فرض می شود که مقادیر

---

[۱] Traffic modeling
[۲] Entropy maximizing
[۳] Assignment-destribution
[۴] Statistical Inference
[۵] Maximum Likelihood

ترافیک شمارش شده و ماتریس هدف توسط توزیع احتمالی، تولید می شوند و تخمین ماتریس مبداء-مقصد با تخمین پارامترهای توزیع احتمالی تعیین می‌گردد [۲]. در اغلب اوقات، در روش‌های مدل کردن ترافیک، یک ماتریس قدیمی را بعنوان یک ماتریس اولیه در نظر گرفته و از روی آن ماتریس مبدا- مقصد را برای زمان حال تخمین می‌زنند. در روش های مبتنی بر احتمال غالبا ماتریس مبدا-مقصدی را که با استفاده از جمع آوری اطلاعات مبدا- مقصد به دست آمده است و نیازمند اصلاح است، تصحیح می‌کنند. در این فصل روش‌های استنتاج آماری به دلیل ماهیت متفاوتی که با روش‌های مورد نظر در این پژوهش دارند، مورد بررسی قرار نمی‌گیرند و برای کسب اطلاعات بیشتر توصیه می‌شود به منابع [۴] الی [۹] رجوع شود.

در ادامه این فصل در بخش‌های (۲-۲) و (۲-۳) روش‌های برآورد ماتریس تقاضا (مبدا- مقصد) با استفاده از روش شمارش ترافیک در کمان ها مورد بررسی قرار می‌گیرند. در بخش (۲-۴)، روش‌های تخمین ماتریس تقاضای چند وسیله‌ای با استفاده از روش شمارش ترافیک در کمان ها بطور مختصر ارائه می‌شوند. به دلیل اهمیت انتخاب کمان-های مناسب جهت تعیین آمار ترافیک، بخش (۲-۵) به اختصار به بررسی این روش‌ها می‌پردازند. در بخش (۲-۶) روش گرادیان اسپایس[۳] بعنوان یکی از کاراترین روش‌های تخمین ماتریس تقاضا برای بهره برداری در فصول بعد، تشریح می‌گردد.

۲-۲- روش های مدل کردن ترافیک

بدلیل اینکه اطلاعات بدست آمده از شمارش ترافیک تعدادی از کمان های شبکه در بسیاری اوقات برای تعیین یک ماتریس مبداء-مقصد منحصر به فرد کافی نمی‌باشد، بنابراین استفاده از ماتریس مبداء-مقصدی که در گذشته به طور مستقیم بدست آمده است و می تواند اطلاعات مفیدی راجع به میزان سفرهای بین ناحیه‌ای در اختیار قرار دهد بسیار موثر می‌باشد.

ماتریس تقاضا از کمینه کردن تابع Y که همان تابع F_1 (فاصله بین ماتریس اولیه و ماتریس تخمین زده شده)

می باشد بدست می‌آید [۴]:

---

[۱] Generalized least squares
[۲] Bayesian Inference
[۳] Spiess Gradient

$$Y = \sum_{ij \in I} T_{ij}.\ln\left(\frac{T_{ij}}{T_{ij}^{b}}\right) \qquad (۱-۲)$$

عبارت (۲-۱) تابع ماکسیمم انتروپی است و به عبارت دیگر ماتریس مبدا- مقصدی مقدار تابع Y را مینیمم می‌کند که جریان ترافیک کمان های مشاهده شده را باز تولید نماید. از حل مسئله کمینه سازی (۲-۱)، رابطه (۲-۲) حاصل می‌شود[۱۰]:

$$T_{ij} = T_{ij}^{b} e^{\sum_{a \in \hat{A}} \lambda_a P_{ij}^{a}} \qquad (۲-۲)$$

که در آن λ_aها ضرایب لاگرانژ مربوط به قید هایی می‌باشند که جریان کمان a، (کمانی از مجموعه کمان‌های شمارش شده $\hat{A}$) را به ماتریس تقاضا مرتبط می‌کند. P_{ij}^{a} ، نسبت تردد بین زوج مبداء-مقصد (i,j) که از کمان a عبور می‌کند. عبارت (۱-۲) با فرض تخصیص نسبی یعنی P_{ij}^{a}های ثابت برقرار است.

در روش‌های مدل کردن ترافیک، بطور مستقیم یا غیر مستقیم فرض می‌شود که رفتار مسافرین از نوعی مدل توزیع سفر تبعیت می‌کند. ون زولین[۱] و ویلامسن [۱۱][۲] دو مدل مهم از این نوع ارائه کردند. مدل های ون زولین و ویلامسن براساس اصول ماکسیمم انتروپی (کمترین اطلاعات)، که از مدل های توزیع سفر نوع جاذبه منجر می شوند، بدست آمده اند.

فیسک[۳] [۱۲] مدل ماکسیمم انتروپی ون زولین و ویلامسن را با در نظر گرفتن شرایط تعادل استفاده کننده بعنوان قید برای شبکه های شلوغ بسط دادند. مدل پیشنهادی وی یک ساختار دو سطحی[۴] دارد که انتروپی را روی سطح بالاتر ماکسیمم می‌کند و مسئله تعادل استفاده کننده را روی سطح پایین تر حل می کند. مدل فیسک بصورت زیر تعریف می‌شود:

---

[۱] Van Zuylen
[۲] Willamsen
[۳] Fisk
[۴] Bisection Structure

$$\min \sum_{ij\in I} T_{ij}.\left(\ln\left(T_{ij}\right)-۱\right)$$

$$s.t.\begin{cases} C(h).(f-h)\geq ۰ \\ \sum_{k\in K_{ij}} h_{ijk}=T_{ij} \qquad \forall ij\in I \\ \hat{v}_a=\sum_{ij\in I}\sum_{k\in K_{ij}} \delta_{ijk}.h_{ijk} \quad \forall a\in \hat{A} \\ T_{ij},h_{ijk}\geq ۰ \quad \forall ij\in I\ ,\ k\in K_{ij} \end{cases} \qquad (۳-۲)$$

h : بردار جریان ترافیک مسیرها،

$C(h)$: هزینه سفر جریان ترافیک تمامی مسیرها ،

f : بردار جریان ترافیک مسیرهای معقول[۱].

v_a :حجم شمارش شده کمان $a\ \left(a\in \hat{A}\right)$

فیسک می‌گوید، "اگر الگوی جریان ترافیک مشاهده شده یک الگوی جریان تعادلی استفاده کننده باشد، راه حل برای این مدل انتروپی همانند راه حل یک مدل ترکیبی توزیع-تخصیص خواهد بود" [۱۳]. الگوریتم های حل کارایی برای حل روشهای ترکیبی در مقاله فیسک و بویس[۲] [۱۴] ارائه گردیده است.

در مقاله قدیمی‌تری از فیسک و بویس ، فرض می‌شود که تعداد سفرهای تولید شده از هر ناحیه و جذب شده به هر ناحیه موجود است و بعنوان قید مسئله در نظر گرفته شده است. اختلاف اصلی بین مدل فیسک و مدل فیسک و بویس در قیدهای تخصیص می‌باشد. در مدل فیسک و بویس میزان ترافیک مشاهده شده در مدل ترکیبی ظاهر نمی شوند، و فقط برای تعیین مقدار پارامتر μ در فاز تخصیص مورد استفاده قرار می‌گیرند. مدل ارئه شده توسط فیسک و بویس بصورت زیر می‌باشد:

---

[۱] Feasible paths
[۲] Boyse

$$\min \mu \sum_{a\in\hat{A}} \left[\int_{\cdot}^{v_a} t_a(v).dv\right] + \sum_{ij\in I} T_{ij}.\ln(T_{ij})$$

$$s.t. \begin{cases} \sum_{j\neq i} T_{ij} = O_i \quad \forall j \in Des\,, \qquad \forall i \in Ori \\ \sum_{i\neq j} T_{ij} = D_j \quad \forall j \in Des\,, \qquad \forall i \in Ori \\ \sum_{k\in K_{ij}} h_{ijk} = T_{ij} \quad \forall ij \in I \\ v_a = \sum_{ij\in\hat{I}} \sum_{k\in K_{ij}} \delta_{ijk}^{a} h_{ijk} \quad \forall a \in A \\ T_{ij}, h_{ijk} \geq \cdot \qquad \forall ij \in I \ , \ \forall k \in K_{ij} \end{cases} \qquad (۴-۲)$$

بطوریکه O_i مقدار تولید سفر ناحیه i و D_j مقدار جذب سفر ناحیه j است. Ori و Des به ترتیب مجموعه گره‌های مبداء و مجموعه گره‌های مقصد هستند. آنها این مسئله را با استفاده از روش لاگرانژین مضاعف حل کردند.

کاواکامی[۱] و همکارانش[۱۵] مدل ترکیبی فیسک و بویس را برای دو گونه سفر (وسیله نقلیه شخصی و کامیون) گسترش دادند. آن ها این مدل را برای یک شبکه با مقیاس متوسط (شبکه حمل و نقل شهر ناگویا[۲] در ژاپن) استفاده کردند. برای این شبکه حمل و نقل یک ماتریس اولیه وجود داشت اما بدلیل اینکه مدل کاواکامی و همکارانش تاثیر ماتریس اولیه را لحاظ نمی کند، از آن ماتریس اولیه استفاده نشد.

نگوین[۳][۱۶] برای اولین مرتبه دو روش بر مبنای تعادل استفاده کننده ارائه کرد. مدل اول برای مواقعی است که حجم جریان در همه کمان ها موجود باشد و مدل دوم برای مواقعی است که تنها اطلاعات کوتاهترین زمان سفر بین تمام زوج مبداء–مقصدها در دست باشد . نگوین مدل اول خود را بصورت زیر ارائه کرد:

---

۱ Kawakami
۲ Nagoya
۳ Nguyen

$$Min \sum_{a\epsilon A} \int_{\cdot}^{v_a} t_a(v)\, dv \qquad (۵-۲-a)$$

$$s.t. \quad T_{ij} - \sum_{k\epsilon K_{ij}} h_{ijk} = \cdot \qquad ,ij \in I \qquad (۵-۲-b)$$

$$v_a = \sum_{ij\epsilon I} \sum_{k\epsilon K_{ij}} \delta_{ijk}^{a}\, h_{ijk} \qquad ,a\epsilon A \qquad (۵-۲-c)$$

$$\sum_{a\epsilon A} t_a(\hat{v}_a)\hat{v}_a - \sum_{ij\epsilon I} \hat{c}_{ij}\, T_{ij} = \cdot \qquad (۵-۲-d)$$

$$h_{ijk} \geq \cdot \qquad ,k\epsilon K_{ij} \qquad (۵-۲-e)$$

$$T_{ij} \geq \cdot \qquad ,ij\epsilon I \qquad (۵-۲-f)$$

بطوریکه $\hat{c}_{ij}$ ، زمان سفر کوتاهترین کمان بین زوج مبداء–مقصد (i,j) است. همانطور که ملاحظه می‌شود، این مدل شبیه به مسئله بهینه سازی مربوط به تخصیص ترافیک تعادلی است، با این تفاوت که قید $(۵-۲-d)$ به آن اضافه شده است. معنی این محدودیت آن است که، زمان سفر انجام شده در کلیه کمان‌ها برابر است با زمان سفر بین تمامی مبداء–مقصدها. بدلیل اینکه برای تخمین ماتریس، حجم ترافیک در تمامی کمان ها باید دانسته شود، بنابراین مدل فوق فقط برای شبکه های کوچک قابل استفاده است. مدل دوم نگوین که با دانستن حجم تعدادی از کمان ها قابل استفاده است بصورت زیر تعریف می‌شود:

$$Min \sum_{a\epsilon A} \int_{\cdot}^{v_a} t_a(v)\, dv \; - \sum_{ij\epsilon I} \hat{c}_{ij}\, T_{ij}$$

$$s.t. \quad T_{ij} - \sum_{k\epsilon K_{ij}} h_{ijk} = \cdot \qquad ,ij \in I \qquad (۶-۲)$$

$$v_a = \sum_{ij\epsilon I} \sum_{k\epsilon K_{ij}} \delta_{ijk}^{a}\, h_{ijk} \qquad ,a\epsilon \hat{A}$$

$$h_{ijk} \geq \cdot \qquad ,k\epsilon K_{ij}$$

$$T_{ij} \geq \cdot \qquad ,ij\epsilon I$$