Archive of SID

مجله علمی – پژوهشی
مهندسی عمران مدرس
دوره نوزدهم، شماره ۲، سال ۱۳۹۸

تحلیل تطبیقی روش‌های تخصیص ترافیک قطعی و تصادفی در برآورد حجم تردد

مهدی بشیری‌نیا[۱]، امیررضا ممدوحی[۲*]

۱ـ دانشجوی دکتری، دانشکده مهندسی عمران و محیط زیست، دانشگاه تربیت مدرس، تهران، ایران
۲ـ دانشیار، دانشکده مهندسی عمران و محیط زیست، دانشگاه تربیت مدرس، تهران، ایران

armamdoohi@modares.ac.ir

تاریخ دریافت ۹۶/۱۰/۱۹ تاریخ پذیرش ۹۷/۳/۲۲

چکیده

از آنجا که نتایج مدل تخصیص ترافیک، خروجی اصلی مطالعات برنامه‌ریزی حمل‌ونقل و پایه‌ی اصلی تصمیم‌گیری برای توسعه‌های آتی محسوب می‌شود، فرض‌ها و دقت برآورد این مدل‌ها اهمیت ویژه‌ای دارد. ولی مقایسه‌ی این مدل‌ها و تحلیل تطبیقی آنها از نظر برآورد احجام واقعی و شاخص‌های کلان شبکه معابر کمتر مورد توجه قرار گرفته است. هدف اصلی مقاله‌ی حاضر تحلیل تطبیقی و کمی نتایج روش‌های مختلف تخصیص ترافیک در برآورد و بازسازی احجام مشاهده شده و تعیین مناسب‌ترین فرض‌ها و روش تخصیص است. فرآیند تخصیص از ساده‌ترین روش‌ها شامل همه یا هیچ شروع شده، با ارائه‌ی اصول، قوانین و فرض‌های مکمل نظیر واردراپ توسعه یافته و با ورود مفاهیمی نظیر منطق فازی تکامل پیدا کرده است. در این پژوهش روش‌های تخصیص متنوعی نظیر همه یا هیچ، جزئی، تخصیص تصادفی، تعادل کاربر، تعادل تصادفی کاربر و بهینگی سیستم مورد بررسی قرار گرفته‌اند. نتایج اجرای این روش‌ها در مورد شبکه معابر شهر قزوین (به عنوان مطالعه موردی) نشان می‌دهد که انواع روش‌های تعادلی در برآورد شاخص‌های کلان شبکه و همچنین دقت تخمین حجم تردد در کمان‌ها، با وجود فرض‌های متنوع، تفاوت معنی‌داری ندارند (ضریب خوبی برازش مشاهده و برآورد حدود ۰/۸۸). ولی روش‌های ساده که رابطه‌ای بین حجم و زمان سفر در نظر نمی‌گیرند، به صورت محسوس نتایج متفاوتی نسبت به روش‌های تعادلی ارائه می‌کنند (ضریب خوبی برازش حدود ۰/۷۰). با توجه به توزیع احتمال خطای برآورد حجم که دارای میانگین و انحراف معیار قابل توجهی است (حدود ۲۰ درصد)، باید در کاربرد نتایج روش‌های تخصیص دقت شود.

واژگان کلیدی: تخصیص ترافیک قطعی، تخصیص ترافیک تصادفی، انتخاب مسیر، مدل انتخاب گسسته، مدل لوجیت

۱– مقدمه

سیستم مدل‌های حمل‌ونقل شهری (UTMS[1]) که معمولاً در برنامه‌ریزی‌های حمل‌ونقل مورد استفاده قرار می‌گیرند، شامل چهار مرحله‌ی ایجاد سفر، توزیع سفر، تفکیک وسیله و تخصیص مسیر هستند. تخصیص به عنوان آخرین مرحله‌ی این سیستم و خروجی آن، اهمیت زیادی در برنامه‌ریزی و مدیریت حمل‌ونقل و ترافیک

1 Urban Transportation Modeling Systems

www.SID.ir

Archive of SID

دارد. از این رو انتخاب مدل مناسب تخصیص ترافیک، ارائه‌ی روش‌های دقیق‌تر و برآورد نتایج واقعی‌تر همواره مورد توجه پژوهشگران حمل‌ونقل بوده است.

نتایج مرحله تخصیص ترافیک در تصمیم سازی‌های مربوط به بهبود شرایط فعلی و پیش بینی‌های آتی سیستم‌های حمل‌ونقل بسیار اثر دارد. در این مرحله، تقاضای سفر برآورد یا گردآوری شده از مراحل گذشته، به شبکه معابر تخصیص داده شده و به اصطلاح انتخاب مسیر انجام می‌گیرد. بر اساس فرض‌ها و رویکردهای مختلف پرداختن به این موضوع، مدل‌ها و روش‌های متفاوت تخصیص ترافیک شکل گرفته‌اند. در مورد این موضوع که کدام یک از این فرض‌ها، روش‌ها و مدل‌ها، درست‌تر و واقعی‌تر بوده و نتایج بهتری ارائه می‌کنند همواره بین صاحب نظران و کارشناسان حمل‌ونقل بحث و اختلاف نظر وجود داشته است. از آنجا که معمولاً در مطالعات حمل‌ونقل و ترافیک فرصت و هزینه کافی برای مقایسه همه مدل‌های تخصیص ترافیک و انتخاب مناسب‌ترین آنها در شرایط خاص هر مسئله وجود نداشته، این موضوع کمتر مورد توجه قرار گرفته و جای خالی آن احساس می‌شود. از این رو تحلیل تطبیقی، علمی و کمی مدل‌های تخصیص ترافیک در این پژوهش مورد توجه واقع شده و امید است تا نتایج آن به عنوان یک نمونه و پاسخ کلی برای سایر کارشناسان و محققان این حوزه قابل استفاده و استناد باشد.

مطالعات متعددی برای تدوین و پیشنهاد مدل‌های بهتر و دقیق‌تر در ادبیات موضوع تخصیص وجود دارد ولی مقایسه این مدل‌ها و روش‌های حل آنها در برآورد احجام واقعی و مشخصات کلی عملکرد شبکه معابر کمتر مورد توجه قرار گرفته است. از آنجا که نتایج مدل تخصیص، خروجی اصلی مطالعات برنامه‌ریزی کلان و خرد حمل‌ونقل و پایه‌ی اصلی تصمیم‌گیری برای توسعه‌های آتی محسوب می‌شود، دقت برآورد این مدل‌ها اهمیت ویژه‌ای دارد. به همین دلیل هدف اصلی مقاله‌ی حاضر تحلیل و مقایسه‌ی کمی نتایج روش‌های مختلف تخصیص (اعم از قطعی و تصادفی) در برآورد احجام مشاهده شده است. به بیان دیگر با توجه به جای خالی مشاهده شده در مطالعات گذشته در مورد میزان خطای موجود در هر یک از روش‌های مختلف تخصیص برای برآورد واقعیت، این مطالعه به صورت مشخص به دنبال رفع این کمبود است. در این راستا، پرسش‌های اصلی که این مطالعه به دنبال پاسخ به آنهاست، به صورت زیر مشخص می‌شوند:

۱ـ آیا نتایج روش‌های مختلف تخصیص از نظر شاخص‌های کلان شبکه تفاوت معنادار دارند؟

۲ـ آیا دقت برآورد احجام تردد معابر در روش‌های مختلف تخصیص تفاوت معنادار دارد؟

در بخش‌های بعد، به بررسی مطالعات مرتبط گذشته و ادبیات موضوع، پس از آن، بیان روش و رویکرد مطالعه و هر یک از روش‌های تخصیص قطعی و تصادفی، شرایط موجود در هر روش و چگونگی مقایسه‌ی آنها پرداخته می‌شود، سپس شرایط و مشخصات مطالعه موردی (شهر قزوین)، به منظور آشنایی بیشتر با داده‌های اولیه، معرفی می‌شود. پس از آن نتایج مختلف هر از روش‌های تخصیص در قالب شاخص‌های کلی و مقایسه با احجام مشاهده شده، ارائه و مقایسه می‌شود. در پایان نیز بر اساس نتایج بدست آمده بحث، نتیجه‌گیری و جمع‌بندی صورت می‌گیرد.

۲- ادبیات موضوع

بر اساس قانون اول واردراپ[1] که در تخصیص ترافیک به عنوان تعادل کاربر[2] (UE) شناخته می‌شود، هر کاربر سعی در کمینه کردن هزینه سفر خود (بدون توجه به کل هزینه سفر شبکه) دارد. به این ترتیب تعادل، زمانی حاصل می‌شود که هیچ راننده‌ای نتواند به تنهایی و با تغییر مسیر خود، هزینه سفر خویش را کاهش دهد. این قانون مبتنی بر فرضیات ساده و در عین حال محدود کننده‌ای است که از آن جمله می‌توان به آشنایی کامل همه کاربران از وضعیت و هزینه‌ی سفر همه‌ی کمان‌های شبکه معابر اشاره کرد [1]. مطالعات انجام شده بیانگر آن است که در واقعیت، زمان سفر مسیرهای موازی استفاده شده معمولاً تفاوت چشمگیری با یکدیگر و با زمان سفر کوتاه‌ترین مسیر دارند [2]. از دلایل این مشاهده می‌توان به عدم آگاهی و آشنایی کاربران با شرایط کل شبکه، انتخاب مسیر بر اساس تجربیات گذشته و یا شاخص‌هایی غیر از زمان سفر، اشاره کرد [3].

می‌توان مدل‌های تخصیص ترافیک را بر اساس دو موضوع «در

1 Wardrop
2 User Equilibrium

www.SID.ir

Archive of SID

نظر گرفتن تأثیر ازدحام و تأخیر در افزایش زمان سفر کمان‌های شبکه» و «وجود خطا در درک زمان سفر کمان‌ها توسط کاربران مختلف» تقسیم‌بندی کرد. تقریباً در تمامی مدل‌های تخصیص موجود، تنها یکی از دو مورد بالا در نظر گرفته شده است [4]. بنابراین روش‌های موجود یا از نوع تعادل قطعی[1] یا روش‌های تخصیص تصادفی[2] شناخته می‌شوند.

مدل‌های تخصیص از منظر دیگری به دو دسته‌ی استاتیک و دینامیک تقسیم بندی می‌شوند. مدل‌های تخصیص استاتیک با فرض ثابت بودن تقاضا در طول زمان، اغلب در برنامه‌ریزی‌های میان و بلند مدت، مورد استفاده قرار می‌گیرند [5]. روش‌های تخصیص دینامیک (پویا)، سیر تدریجی جریان ترافیک را در نظر گرفته و به همین دلیل پیچیده‌تر هستند [6]. در این روش بازه‌های زمانی مختلف بر اساس انتشار جریان ترافیکی با یکدیگر مرتبط می‌شوند. به این ترتیب، وسیله‌ای که در یک بازه‌ی خاص وارد شبکه معابر شده است، بسته به ابعاد و پیچیدگی شبکه، برای رسیدن به مقصد به بیش از یک بازه‌ی زمانی نیاز خواهد داشت [7].

تلاش‌های بسیاری در راستای در نظر گرفتن نامعینی و عدم قطعیت در درک زمان سفر، تصمیم گیری کاربران و انتخاب مسیر صورت گرفته است. مدل‌های تخصیص تصادفی با در نظر گرفتن زمان سفر هر کمان به صورت یک متغیر تصادفی با توزیع احتمال مشخص، سعی در مد نظر قرار دادن خطای درک کاربران دارند. در این نوع مدل‌ها، هر کاربر مسیر خود را بر پایه‌ی زمان سفر درک شده (زمان سفر قطعی به همراه مقداری خطا) انتخاب می‌کند. این رویکرد منجر به تعمیم قانون واردراپ و ایجاد قانونی جدید با عنوان تعادل تصادفی کاربر[3] (SUE) شده است [81].

مسئله‌ی تعادل تصادفی کاربر را می‌توان بر اساس جریان در کمان و یا جریان در مسیر حل کرد. روش‌های کمان ـ مبنا[4] از جهت اینکه نیازی به ایجاد و شمارش صریح مجموعه‌ی مسیرهای امکان پذیر ندارند، مزیت مهمی دارند [9]. این مزیت، استفاده از آنها را برای شبکه‌های بزرگ مقیاس، ممکن و آسان می‌نماید. البته استفاده از روش‌های مسیر ـ مبنا[5] فرصت تعریف مجموعه انتخاب مناسب و منعطف‌تر را فراهم کرده و مسیرهای چرخشی ممکن در روش کمان مبنا را حذف می‌کند [10].

در فرآیند انتخاب مسیر سفر، به دلیل وجود تصمیم گیری‌های انسان و عوامل مختلف تأثیر گذار بر این تصمیم، عدم قطعیت‌های زیادی وجود دارد. تئوری فازی[6] که در سال ۱۹۶۵ توسط لطفی‌زاده معرفی گردید، ظرفیت جدیدی برای در نظر گرفتن این نوع عدم قطعیت‌ها ایجاد کرد. طبق این تئوری می‌توان بیان کرد که افراد مختلف در مواجهه با یک شرایط یکسان، برداشت، دیدگاه و تصمیم‌های متفاوتی دارند. به طور خاص و در زمینه تخصیص ترافیک، یک مسیر با زمان سفر مشخص می‌تواند برای یک فرد، طولانی و غیرقابل قبول ولی برای فردی دیگر نسبتاً کوتاه و قابل تحمل باشد [11].

تا کنون الگوریتم‌های مختلفی برای حل مسئله تعادل کاربر (رویکرد قطعی) ارائه شده است که از این جمله می‌توان به الگوریتم آشتیانی و مگنتی [12] و یا روش لبلانک و همکاران [13] اشاره کرد. در این میان روش ترکیب محدب[7] که توسط فرانک ـ ولف ارائه شد، بیش از دیگر الگوریتم‌ها، مورد توجه و استفاده قرار گرفته است [14].

شفی و پاول در سال ۱۹۸۲ مسئله تعادل تصادفی کاربر را به صورت عمومی توسط یک برنامه ریاضی کمینه سازی بدون محدودیت فرموله کردند [15]. فیسک در پژوهشی دیگر در سال ۱۹۸۰ با استفاده از یک جمله آنتروپی، برنامه‌ای برای تعادل تصادفی کاربر بر پایه مدل لوجیت ارائه کرد [16]. برنامه‌های آنتروپی مبنای مشابه دیگری نیز برای تخصیص تصادفی بر اساس مدل‌های انتخاب متفاوت پیشنهاد شده‌اند که از آن جمله می‌توان پژوهش بکهور و پراشکار را نام برد [17].

روش میانگین گیری‌های متوالی[8] (MSA) که در سال ۱۹۸۲ توسط شفی و پاول [15] توسعه داده شد، اولین الگوریتم پیشنهادی برای حل مسئله تعادل تصادفی کاربر محسوب می‌شود. این الگوریتم

1 Deterministic
2 Stochastic
3 Stochastic User Equilibrium
4 Link-Based
5 Path-Based
6 Fuzzy Theory
7 Convex Combination
8 Method of Successive Averages

www.SID.ir

Archive of SID

که در آن اندازه‌ی گام در هر تکرار مقداری از پیش تعیین شده دارد، در مورد هر نوع روش بارگذاری تصادفی شبکه قابل استفاده است. ماهر با کمک فرمول بندی پیشنهادی شفی و پاول الگوریتمی برای حل مسئله تعادل تصادفی کاربر بر پایه‌ی مدل لوجیت پیشنهاد کرد که با محاسبه‌ی تقریبی گام بهینه در هر تکرار، همگرایی را بهبود می‌بخشد [18]. دایل نیز الگوریتمی بر پایه‌ی آنتروپی ارائه نمود که مختص مدل انتخاب لوجیت است [19].

الگوریتم‌های متعددی با بهره‌گیری از فرمول بندی فیسک پیشنهاد شده است. دمبرگ و همکاران [20]، روش پیشنهادی توسط لارسون و پاتریکسون [21] برای مدل‌های قطعی را گسترش داده و از آن برای حل مسئله تصادفی بر مبنای مدل لوجیت استفاده کردند. آنها با خطی‌سازی یک جمله در تابع هدف برنامه‌ی ریاضی فیسک، برنامه‌ی کمینه سازی جدیدی ارائه نمودند. بکهور و تولدو [22] با کمک برنامه فیسک و الگوریتم تصویر گرادیان برتسکاس و گافنی [23] که روش حلی مسیر- مبنا برای مدل‌های قطعی پیشنهاد می‌دهد، روشی برای حل مسئله تخصیص تصادفی بر اساس مسیر ارائه کرده و نتایج آن را با مطالعه دمبرگ و همکاران مقایسه می‌کنند. مشاهده می‌شود که الگوریتم دمبرگ و همکاران در مقایسه با روش آنها بر پایه تصویر گرادیان، کمی بهتر عمل کرده است.

در پژوهشی دیگر چن و آلفا [24] با تغییر چگونگی محاسبه اندازه گام در الگوریتم فرانک ـ ولف، روشی را پیشنهاد کرده‌اند که به وارون ماتریس کمان ـ مسیر نیاز دارد. محاسبه این وارون ماتریس با بزرگ و پیچیده شدن شبکه‌ها در ابعاد واقعی، دشوار بوده و اجرای روش پیشنهادی را برای آنها غیرعملی کرده است. بعدها هوانگ [25] با حذف نیاز به این وارون ماتریس، الگوریتم مذکور را بهبود بخشید. با این حال هنوز یکی از کاستی‌ها و مشکلات این مطالعه، استفاده از روش تصادفی دایل برای تولید مجموعه‌ی مسیرهای نامزد است. این کاستی از آن روست که ممکن است مسیرهای کارا و مناسب به دست آمده در هر تکرار از این روش، متفاوت بوده و منجر به احجام تردد ناسازگار در این مجموعه مسیرها شود [26 ,27].

شائو و همکاران [28] یک مدل جدید تخصیص تعادل تصادفی مبتنی بر واقعیت نوسانات تقاضای سفر برای شبکه‌های حمل‌ونقل مختلف ارائه دادند. در این مدل، گروه‌های مختلف کاربران بر اساس توزیع متغیر تصادفی زمان سفر، قدرت مانورهای مختلفی برای رسیدن به مقصد دارند. به علاوه در این مدل خطاهای درک کاربران از زمان سفر نیز لحاظ می‌شود. این مدل به صورت یک برنامه ریاضی تغییر همسان فرموله و به کمک یک الگوریتم ابتکاری حل شده است. در این مطالعه، به هدف نشان دادن کاربرد مدل پیشنهادی و کارایی الگوریتم حل ابتکاری، تعدادی مطالعه موردی فرضی و واقعی بررسی و مقایسه شده‌اند.

در مطالعه‌ی ممدوحی و ماهپور [32] نتایج سه روش تخصیص تعادل کاربر، تخصیص تصادفی و تخصیص جزئی برای شبکه معابر شهر مشهد با یکدیگر مقایسه شده است. در این مطالعه تمرکز بیشتر بر مقایسه‌ی حالت‌های مختلف تقسیم تقاضا در گام‌های تخصیص جزئی است. برای این منظور پنج حالت مختلف شامل تعداد و طول گام‌های گوناگون تخصیص جزئی اجرا شده و نتایج حاصل با مشاهدات واقعی و تخصیص تعادل کاربر قیاس شده است. در نتیجه‌گیری این مطالعه آمده است که نتایج تخصیص تعادل کاربر برای تقاضای ساعت اوج شهر مشهد نسبت به سایر روش‌ها بیشترین مشابهت به مشاهدات را دارد ولی با ایجاد تغییر در چگونگی تقسیم تقاضا در گام‌های تخصیص ترافیک جزئی نیز می‌توان به نتایج قابل قبولی دست یافت. به بیان دیگر با اعمال تغییرات مختصری در روش‌های ساده و کلاسیک، می‌توان نتایج روش‌های جدید و پیچیده‌تر را تولید نمود.

۳- روش و رویکرد مطالعه

در مرحله تخصیص ترافیک، به عنوان آخرین مرحله از مراحل چهارگانه‌ی مرسوم برای برنامه‌ریزی حمل‌ونقل شهری، موضوع مورد بحث، چگونگی تخصیص ماتریس تقاضای سفر به شبکه‌ی معابر است. مدل‌های تخصیص عموماً به دو دسته استاتیک و دینامیک تقسیم بندی می‌شوند. مدل‌های تخصیص استاتیک با فرض ثابت بودن تقاضا در بازه‌ی زمانی مورد نظر، اغلب با هدف برنامه‌ریزی کلان مورد استفاده قرار می‌گیرند. این دسته مدل‌ها را می‌توان با توجه به فرض‌های مربوط به رفتار و انتخاب مسیر کاربران، به دو دسته‌ی قطعی و تصادفی تقسیم کرد. در این پژوهش چند نوع از روش‌های تخصیص استاتیک، شامل قطعی و تصادفی مورد بررسی و مقایسه قرار خواهند گرفت. این مطالعه با در نظر گرفتن شبکه‌ی معابر، مشخصات عملکردی کمان‌ها و ماتریس تقاضا

www.SID.ir

Archive of SID

به عنوان ورودی، هر یک از روش‌های تخصیص جدول(۱) را اجرا کرده و در پایان، نتایج آنها مقایسه و بحث خواهد شد.

جدول ۱. ویژگی‌های روش‌های مختلف تخصیص ترافیک

No.	Methods	Travel Time Distribution	VDF	Path	Equilibrium
1	AON[1]	×	×	Shortest	×
2	Inc.[2]	×	×	Shortest	×
3	STOCH[3]	×	×	Logit	×
4	UE	×	✓	Shortest	✓
5	SUE	Normal	✓	Shortest	✓
6	SUE	Gumbel	✓	Shortest	✓
7	SUE	Uniform	✓	Shortest	✓
8	SO	×	✓	Shortest	×

Table 1. Characteristics of Traffic Assignment Methods

در رویکرد مدل‌های قطعی تخصیص ترافیک فرض‌های زیادی وجود دارد. از جمله‌ی این فرض‌ها می‌توان به اطلاع و آشنایی کامل کاربران با شرایط شبکه، تصمیم‌گیری درست افراد، رفتار یکسان و منطقی کاربران، و انتخاب مسیر بر مبنای قوانین واردراپ، اشاره کرد. در قانون دوم واردراپ فرض شده که جریان ترافیک و انتخاب مسیر به شکلی صورت گرفته که کل زمان سفر در شبکه (هزینه‌ی عملکرد سیستم حمل‌ونقل) کمینه شود. این قانون به نام بهینگی سیستم[4] (SO) معروف بوده و تعادل حاصل از به کارگیری آن را تعادل سیستم می‌گویند [5]. جریانی که این مدل را بهینه کرده است لزوماً شرایط تعادل کاربر را ندارد. در این شرایط ممکن است کاربران قادر باشند با تغییر مسیر خود، زمان سفرشان را کاهش دهند. بنابراین نمی‌توان انتظار داشت که در شرایط واقعی، این الگو پایدار بماند. به همین دلیل این مدل به عنوان تصویر رفتار واقعی رانندگان مورد استفاده نبوده و تنها حد پایینی برای کل هزینه‌ی سیستم، در اختیار برنامه‌ریز قرار می‌دهد.

در مدل‌های تصادفی، تعدادی از فرض‌های اساسی مدل‌های قطعی، با اضافه کردن یک عبارت تصادفی به زمان سفر، آزاد می‌شوند. با این تغییر، تحلیل این مدل‌ها مشابه با مدل‌های انتخاب گسسته و بر اساس بیشینه کردن مطلوبیت‌های تصادفی خواهد بود. به منظور ایجاد ارتباط بین زمان سفر مسیرهای مختلف و مفهوم مطلوبیت در مدل‌های انتخاب گسسته، می‌توان فرض کرد که زمان سفر هر مسیر از مجموع زمان سفر اندازه گیری شده و یک عبارت تصادفی خطا بدست می‌آید. با این تعریف می‌توان از مفاهیم انتخاب گسسته بین گزینه‌ها برای برآورد احتمال انتخاب یک مسیر استفاده نمود. به این ترتیب احتمال انتخاب میسر k برای زوج مبدأ و مقصد OD برابر است با احتمال این که زمان سفر درک شده‌ی این مسیر از همه مسیرهای ممکن دیگر کمتر باشد. برای محاسبه‌ی این احتمال به توزیع احتمال زمان سفرها و یا به بیان دقیق‌تر عبارات خطا نیاز است. با در نظر گرفتن فرض‌های مختلف برای توزیع احتمال خطاها می‌توان مقادیر متفاوتی برای احتمال انتخاب مسیرها برآورد نمود. دو فرض رایج در این زمینه توزیع‌های گامبل و نرمال هستند که به ترتیب، مدل‌های انتخاب لوجیت و پروبیت را نتیجه می‌دهند.

در حالت کلی می‌توان تعادل کاربر را حالت خاصی از تعادل تصادفی کاربر دانست. هنگامی که واریانس درک زمان سفرها برابر صفر در نظر گرفته شده و همه کاربران زمان سفر کمان‌ها را به صورت مشابه و یکسان درک کنند، تعادل تصادفی، معادل تعادل کاربر خواهد شد.

مسئله‌ی تعادل تصادفی کاربر را می‌توان هم بر مبنای کمان و هم بر اساس مسیر حل کرد. اکثر الگوریتم‌های حل موجود در ادبیات این مسئله، کمان مبنا هستند [31,30]. یکی از مزایای مهم روش‌های کمان مبنا عدم نیاز به ایجاد و شمارش مجموعه‌ی انتخاب مسیرهاست. همین مزیت است که اجرای این روش‌ها را برای شبکه‌های بزرگ مقیاس آسان‌تر کرده است.

شفی و پاول در سال ۱۹۷۹ برای اولین بار، مسئله‌ی تعادل تصادفی کاربر را به صورت عمومی توسط یک برنامه‌ی کمینه سازی بدون محدودیت زیر فرموله کردند [1].

$$Min \quad Z = \sum_a X_a . t_a(X_a) - \sum_a \int_0^{X_a} t_a(w)\, dw - \sum_{OD} q^{OD} . E\left[Min\{C_k^{OD}\}\right] \qquad (۱)$$

در پژوهشی دیگر در سال ۱۹۸۰، فیسک با استفاده از یک جمله

1 All-or-Nothing Assignment
2 Incremental Assignment
3 Stochastic Assignment
4 System Optimum

www.SID.ir

Archive of SID

آنتروپی، برنامه‌ای برای تعادل تصادفی کاربر بر پایه‌ی مدل لوجیت ارائه کرد [16].

$$Min\ Z = \sum_a \int_0^{X_a} t_a(w)\, dw + \frac{1}{\theta} \sum_{O,D,k} f_k^{OD}.Ln\left(f_k^{OD}\right) \quad (۲)$$

$$\sum_k f_k^{OD} = q^{OD} \qquad \forall\, O,D \quad (۳)$$

$$f_k^{OD} \geq 0 \qquad \forall\, O,D,k \quad (٤)$$

الگوریتم‌های متعددی با بهره‌گیری از فرمولاسیون فیسک ایجاد شده است. دمبرگ و همکاران با خطی سازی عبارت اول برنامه‌ی ریاضی فیسک، برنامه‌ی کمینه سازی زیر را بر مبنای مسیر ارائه نموده‌اند (رابطه (۵)).

$$Min\ Z = \sum_{O,D,k} c_k^{OD}.f_k^{OD} + \frac{1}{\theta} \sum_{O,D,k} f_k^{OD}.Ln\left(f_k^{OD}\right) \quad (۵)$$

دمبرگ با اثبات معادل بودن حل این برنامه با مدل لوجیت، سهم جریان ترافیک مسیر در هر تکرار را محاسبه کرد [20]. به کمک جریان‌های محاسبه شده در هر تکرار، هزینه‌ی کمان‌ها و سپس مسیرها بهنگام شده و فرآیند تخصیص تکرار خواهد شد.

همان طور که پیشتر نیز بیان شد، تعادل تصادفی کاربر، در واقع تعمیم تعادل کاربر بوده و فرض می‌کند که کاربران اطلاعات کاملی در مورد مشخصات عملکردی کل شبکه و سیستم حمل‌ونقل نداشته و درک متفاوتی از هزینه‌های سفر مسیرهای مختلف دارند. تعادل تصادفی، استفاده از مسیرهای کمتر جذاب را به همان اندازه استفاده از مسیرهای جذاب مد نظر قرار می‌دهد. در این روش مسیرهای کمتر جذاب دارای مطلوبیت کمتری هستند ولی همچون تعادل کاربر دارای حجم ترافیک برابر صفر نخواهند بود.

معروف‌ترین الگوریتم حل کمان مبنا برای دستیابی به تعادل تصادفی کاربر، روش میانگین گیری‌های متوالی (MSA) است که توسط شفی و پاول در سال ۱۹۸۲ توسعه داده شد [14]. در این روش برای زمان سفر درک شده‌ی کمان‌ها یک توزیع احتمال (نرمال، گامبل یا یکنواخت) در نظر گرفته می‌شود. در هر تکرار از این الگوریتم، زمان سفر کمان‌ها، به صورت تصادفی از توزیع احتمال فرض شده، انتخاب می‌شود. بر اساس این زمان سفرها، تخصیص همه یا هیچ (AON) تقاضا صورت می‌گیرد. سپس حجم هر کمان، از طریق میانگین گیری وزنی احجام تردد تکرارهای مختلف تعیین شده و میانگین توزیع احتمالی زمان سفرها بهنگام می‌شود. این مراحل تا رسیدن به شرایط همگرایی و توقف ادامه خواهد داشت.

تعادل کاربر یک فرآیند تکراری برای رسیدن به جواب همگراست که در آن هیچ کاربری به تنهایی و با تغییر مسیر سفر خود نمی‌تواند زمان سفرش را بهبود دهد. در هر تکرار از این الگوریتم، بر اساس مشخصات عملکردی معابر، ظرفیت آنها و توابع تأخیر حجم مبنا[1] (VDF)، حجم تردد کمان‌های شبکه محاسبه می‌شوند. معمولاً تابع تأخیر کمان‌ها (رابطه (٦)) از نوع BPR[2] با چهار پارامتر (مربوط به مشخصات سلسله مراتب عملکردی معبر) و تابع تأخیر تقاطع‌های چراغدار (رابطه (۷)) از نوع توانی با سه پارامتر (مربوط به چگونگی کنترل و عملکرد چراغ) فرض می‌شوند. تابع تأخیر تقاطع‌های بدون چراغ (رابطه (۸)) نیز با توجه به شکل هندسی تقاطع و تعداد حرکت‌های مجاز در آن محاسبه می‌شود.

$$D_1 = t_0 \left[1 + \alpha \left(\frac{V}{Q}\right)^{\beta}\right] \quad (٦)$$

$$D_2 = \frac{(c-g)^2}{2c\left(1-\frac{V}{S}\right)} + 43\left(\frac{V}{S\left(\frac{g}{c}\right)}\right)^4 + 5 \quad (۷)$$

$$D_3 = t\,.m\left[2.5 + 2\left(\frac{V}{Q}\right)^2\right] \quad (۸)$$

در توابع بالا، c طول سیکل تقاطع چراغدار، g زمان سبز مربوط به رویکرد مورد نظر، V، حجم تردد کمان بر حسب معادل سواری، S ظرفیت اشباع کمان مربوطه، t پارامتر مربوط به نوع تقاطع بدون چراغ شامل سه یا چهارراه، m تعداد حرکت‌های مجاز در تقاطع و Q میزان ظرفیت اسمی کمان مربوطه است. برای دستیابی به تعادل کاربر بیشتر از الگوریتم فرانک ـ ولف، با شرط توقف رسیدن به بیشینه ۱۰۰ تکرار یا برابر شدن خطای نسبی احجام تردد در دو تکرار متوالی با ۰/۱ درصد، استفاده می‌شود.

در روش تخصیص تصادفی (STOCH) به صورت مسیر مبنا، تقاضای سفر هر زوج مبدأ و مقصد، بین مسیرهای مختلف ممکن بین آن زوج توزیع می‌شود. سهم هر مسیر از کل تقاضا از طریق احتمال انتخاب در مدل لوجیت تعیین خواهد شد. انتخاب مسیر به این صورت انجام می‌گیرد که مسیرهای کوتاه‌تر شانس و سهم بیشتری نسبت به مسیرهای بلندتر دارند. مجموعه مسیرهای محتمل

1 Volume Delay Function (VDF)
2 Bureau of Public Roads

www.SID.ir

Archive of SID

برای هر زوج مبدأ و مقصد نیز به کمک کمان‌هایی ایجاد می‌شود که در جهت رساندن آن مبدأ به مقصد باشند. در این روش زمان سفر کمان‌ها به صورت ثابت وارد مدل انتخاب شده و به حجم عبوری کمان وابسته نیست. به همین دلیل این روش تخصیص در گروه روش‌های ایجاد تعادل دسته بندی نمی‌شود.

در روش تخصیص همه یا هیچ، تمام تقاضای سفر زوج‌های مبادی و مقاصد به کوتاه‌ترین مسیر بین آنها تخصیص داده می‌شود. این روش به دلیل استفاده از تنها یک مسیر برای هر مبدأ و مقصد، چندان واقعی نیست. چرا که در واقعیت ممکن است مسیرهای موازی دیگری با زمان سفر مشابه یا بسیار نزدیک به کوتاه‌ترین مسیر وجود داشته و استفاده شوند. همچنین در این روش بدون توجه به وجود ظرفیت کافی یا ازدحام زیاد، مقدار تقاضا تخصیص داده شده است. به علاوه زمان سفر کمان‌ها به صورت ثابت وارد این مدل شده و با تغییرات حجم تردد، تغییر نخواهد کرد.

تخصیص جزئی (Inc.) فرآیندی است که در هر مرحله از آن قسمت مشخصی از تقاضا، از طریق روش همه یا هیچ، به شبکه تخصیص داده می‌شود. پس از هر مرحله از تخصیص، زمان سفر کمان‌ها بر اساس حجم تخصیص یافته، بهنگام شده و مرحله بعدی بر مبنای این زمان سفر بهنگام شده صورت خواهد گرفت. در صورتی که این روش با اجزای زیاد اجرا شود، جریان‌های بدست آمده ممکن است شبیه تعادل کاربر باشد ولی باید توجه داشت که این روش، لزوماً به تعادل نخواهد رسید. در نتیجه، ممکن است مقداری ناسازگاری بین احجام تردد و زمان سفر کمان‌ها وجود داشته و برآورد شاخص‌های کلان شبکه با خطا همراه باشد.

به منظور مقایسه‌ی کمی و پیاده‌سازی مدل‌های مختلف تخصیص ترافیک استاتیک، شهر قزوین به عنوان مطالعه موردی، بررسی شد. هشت روش مختلف تخصیص شامل روش‌های تصادفی و قطعی، تعادلی و غیرتعادلی، ایجاد شده جدول (۱) و نتایج تخصیص ترافیک برای هر یک از آنها مقایسه خواهد شد. به منظور مقایسه روش‌های مختلف، از معیارهای کلی مانند کل مسافت پیموده شده در شبکه، کل زمان سفر صرف شده در شبکه، میزان آلاینده تولید شده، مقدار سوخت مصرفی و شاخص‌های جزئی‌تر مثل میزان خطا در برآورد حجم تردد کمان‌های منتخب شبکه، استفاده خواهد شد.

٤- نتایج روش‌های مختلف تخصیص ترافیک

در این مطالعه، از مدل شبکه معابر شهر قزوین با ٤٥٧٠ هکتار وسعت و حدود ٤٠٠ هزار نفر جمعیت، به عنوان مطالعه موردی، استفاده شده است. این شهر به ۱۱۳ ناحیه ترافیکی داخلی، ۵۷ ناحیه میانی و ۸ محور مواصلاتی مهم تقسیم‌بندی شده [33] و شبکه معابر مصوب آن دارای ۲۳۰۰ کمان و ۱۲۰۰ گره است. این شبکه دارای ۲۹۰ کیلومتر طول و ۳۵۰ هکتار مساحت است که ٤٥ درصد از مساحت آن مربوط به معابر جمع‌وپخش‌کننده می‌شود. علاوه بر معابر جمع‌وپخش‌کننده، شبکه‌ی این شهر دارای تندراه، شریانی، رابط و گردراهه است که پارامترهای مربوط به توابع عملکردی هر یک به تفکیک سلسله مراتب از طریق برداشت‌های میدانی برآورد شده است.

ماتریس تقاضای درون شهری قزوین، شامل ٦٩ هزار سفر داخلی بر حسب همسنگ سواری بر ساعت است. متوسط درایه‌های این ماتریس ٥/٤، و بیشینه آن برابر ۲۲٤ وسیله ـ سفر می‌باشد. نرخ ایجاد سفر روزانه ساکنین شهر قزوین نیز برابر ۱/٦ سفر بر روز بر نفر (با احتساب سفرهای بازگشت به منزل) گزارش شده است [33].

در این مطالعه، تعداد ۸ روش تخصیص مختلف به منظور تحلیل و مقایسه‌ی کمی نتایج، انتخاب و با استفاده از ابزارهای موجود در محیط نرم افزار TransCAD اجرا شد جدول (۱). شاخص‌های کلان شبکه معابر، شامل وسیله ـ کیلومتر پیموده شده، وسیله ـ ساعت طی شده، سوخت مصرف شده و آلاینده‌ی تولید شده، برای هر یک از روش‌های تخصیص به دست آمده است (جدول ۲).

مقایسه‌ی شاخص‌های کلان مربوط به هر یک از روش‌های تخصیص، مشخص می‌کند که این شاخص‌ها در سطح کلان شبکه‌ی معابر چندان متفاوت نیستند. البته باید توجه کرد که دو روش تخصیص همه یا هیچ و تخصیص تصادفی نسبت به سایر روش‌ها، از نظر شاخص زمان سفر کل شبکه تفاوت قابل ملاحظه‌ای دارند. این تفاوت نیز به دلیل در نظر گرفته نشدن ازدحام در معابر و عدم افزایش زمان سفر کمان‌ها در نتیجه‌ی افزایش حجم تردد در

www.SID.ir

Archive of SID

آنهاست. این دو روش تنها با استفاده از زمان سفر آزاد، تقاضا را به شبکه تخصیص داده و با افزایش حجم تردد و ایجاد ازدحام، زمان سفر کمان‌ها را بهنگام نمی‌کنند. در روش تخصیص جزئی نیز به دلیل عدم وجود تابع هدف و تزریق جزئی تقاضا به شبکه، شرایط تعادل ایجاد نشده و مقدار زمان و طول کل سفرها کمی نسبت به روش‌های تعادلی بیشتر است. البته با توجه به فرآیند بسیار ساده‌ی اجرای این روش نسبت روش‌های تعادلی می‌توان تا حدودی از مقادیر تفاوت موجود در شاخص‌های کلان چشم پوشی کرد. نکته‌ی قابل توجه این است که علی رغم پیچیدگی زیاد مدل سازی و اجرای روش‌های تصادفی نسبت به قطعی، شاخص‌های کلان شبکه تغییر محسوسی نشان نداده است. البته این نکته در مقایسه‌ی شاخص‌های کلان مشاهده شده و ممکن است در بررسی‌های جزئی‌تر و بررسی احجام تردد کمان‌های منتخب، نتایج متفاوت باشد.

جدول ۲. مقایسه روش‌های تخصیص از نظر برآورد شاخص‌های کلان شبکه

Methods	VKm	VHr	Fuel (Lit)	Pollutant (kg)
AON	417000	9352	55759	20229
Inc.	418404	14131	64144	30894
STOCH	419231	11681	59906	25917
UE	417550	13794	63314	30191
SUE (N)[1]	416485	13829	63221	30027
SUE (G)[2]	415625	13782	63055	29938
SUE (U)[3]	416287	13826	63200	30018
SO	418288	13628	63503	30560

Table 2. Comparison of Traffic Assignment Methods in Network Indices

هدف اصلی در مرحله‌ی تخصیص ترافیک، برآورد احجام تردد در کمان‌های شبکه و بررسی وضعیت عملکردی هر یک از آنهاست. به همین دلیل روش تخصیصی بهتر است که بتواند احجام و ویژگی‌های عملکردی کمان‌ها را واقعی‌تر برآورد کند. در این راستا علاوه بر مقایسه‌ی روش‌های مختلف تخصیص از منظر شاخص‌های کلان شبکه، در این مطالعه، تعداد ۱۲۵ کمان منتخب نیز در نظر گرفته شده تا احجام مشاهده شده در آنها با نتایج برآورد هر یک از روش‌های تخصیص مقایسه شود. پس از اجرای هر روش، مقادیر خطای برآورد حجم در کمان‌ها محاسبه و با استفاده از شاخص‌های آماری نظیر کمینه، بیشینه، میانگین، انحراف معیار و مجذور میانگین مربعات خطا[4]، با روش‌های دیگر مقایسه شده است جدول-های (۳، ٤).

در نتیجه مقایسه‌ی حجم تردد برآورد شده با مقادیر مشاهده شده در تعداد ۱۲۵ کمان منتخب، مشاهده می‌شود که در روش‌های مختلف تخصیص، مقادیر خطای برآورد به صورت قابل ملاحظه‌ای متفاوت است. مقدار خطا در بیشترین حالت از ۲۰۰٦ وسیله در روش همه یا هیچ تا ۷۲۵ وسیله در تعادل کاربر متغیر بوده است. با این وجود مقادیر میانگین خطا در روش‌های مختلف، چندان متفاوت نیست (از ۵۰۷ تا ۲٤۸ وسیله بر ساعت). با توجه به انحراف معیار خطا که به نسبت میانگین مقادیر زیادی هستند، مشخص است که پراکندگی میزان خطا قابل توجه بوده است.

جدول ۳. مقایسه‌ی روش‌های تخصیص از نظر خطای مطلق برآورد حجم تردد (بر حسب وسیله بر ساعت)

Methods	Min	Max	Mean	SD	RMSE
AON	5	2006	507	434	666
Inc.	3	1115	327	238	404
STOCH	8	1259	348	268	439
UE	4	725	305	176	352
SUE (N)	4	1446	253	211	329
SUE (G)	2	1459	248	211	325
SUE (U)	1	1422	253	208	327
SO	0	940	300	221	372

Table 3. Comparison of Traffic Assignment Methods in Estimating Traffic Volume Absolute Error (Pc/hr)

1 Stochastic User Equilibrium with Normal Distribution
2 Stochastic User Equilibrium with Gumbel Distribution
3 Stochastic User Equilibrium with Uniform Distribution

4 Root Mean Square Error (RMSE)

www.SID.ir

Archive of SID

جدول ٤. مقایسه‌ی روش‌های تخصیص از نظر خطای نسبی برآورد حجم تردد (بر حسب درصد)

Methods	Min	Max	Mean	SD	RMSE
AON	0	203	34	28	44
Inc.	0	163	24	22	33
STOCH	0	114	26	24	35
UE	0	110	23	19	30
SUE (N)	0	104	18	17	25
SUE (G)	0	98	18	17	24
SUE (U)	0	101	19	17	25
SO	0	141	23	23	33

Table 4. Comparison of Traffic Assignment Methods in Estimating Traffic Volume Error (%)

علاوه بر مقادیر مطلق خطای برآورد احجام تردد، مقدار خطای نسبی هم دارای اهمیت ویژه‌ای است. چرا که مقدار خطا به نسبت حجم واقعی کمان معنی پیدا کرده و بهتر قابل بررسی خواهد بود. مشاهده می‌شود که خطای نسبی در بیشترین حالت حتی تا ۲۰۰ درصد نیز وجود دارد (در روش همه یا هیچ) که می‌تواند به علت عدم توجه به تغییرات زمان سفر در مقابل افزایش حجم در کمان‌ها باشد. البته تقریباً در تمام روش‌ها مقدار خطای نسبی در بیشینه خود، بیشتر از ۱۰۰ درصد مشاهده شده است. در میان ۸ روش بررسی شده، روش‌های تعادلی کاربر (قطعی و تصادفی)، با مقدار حدود ۲۰ درصد، دارای کم‌ترین مقادیر میانگین خطا هستند.

شاخص‌های آماری ارائه شده تا حد خوبی وضعیت روش‌های مختلف تخصیص در برآورد احجام تردد را مشخص کردند ولی به صورت مرسوم در مطالعات حمل‌ونقل، برای این منظور، از نمودارهای مشاهده و برآورد و رابطه‌ی رگرسیون خطی حاصل از آن، استفاده می‌شود. به همین جهت این نمودارها برای هر روش ترسیم شده و رابطه‌ی رگرسیون خطی حاصل نیز برآورد شده است (جدول ۵).

مشاهده می‌شود که با وجود قابل توجه بودن مقادیر خطای برآورد و پراکندگی آنها، میزان برآزندگی مشاهده ـ برآورد در روش‌های مختلف چندان متفاوت نیستند. مقادیر ضریب خط رگرسیون با اطمینان ۹۵ درصد با مقدار ۱ تفاوت معنی‌داری ندارند. عرض از مبدأ خطوط بدست آمده نیز تقریباً کوچک و قابل چشم پوشی هستند. به این ترتیب و با توجه به مقادیر ضریب خوبی برازش می‌توان گفت که از این منظر، روش‌های مختلف تخصیص، در برآورد احجام مشاهده شده، چندان تفاوت نداشته و در محدوده‌ی قابل قبولی از دقت هستند (ضرایب خوبی برازش حدود ۰/۸).

جدول ۵. مقایسه‌ی روش‌های مختلف تخصیص از طریق تحلیل رگرسیون مشاهده ـ برآورد احجام تردد

Methods	Slope		Y-Intercept		R^2
	a	t	b	t	
AON	1.090	16.93	-84	-0.67	0.700
Inc.	1.001	26.01	92	1.21	0.846
STOCH	0.919	22.53	257	3.21	0.805
UE	0.973	29.14	133	2.03	0.873
SUE (N)	0.948	29.79	72	1.15	0.881
SUE (G)	0.951	30.23	60	0.97	0.884
SUE (U)	0.949	29.98	67	1.07	0.883
SO	0.887	25.48	234	3.43	0.841

Table 5. Comparison of Traffic Assignment Methods by Observation – Prediction Regression Analysis

در انواع مطالعات حمل‌ونقلی معمولاً از روش تعادل کاربر برای تخصیص ترافیک استفاده می‌شود. به همین دلیل بررسی دقت برآورد احجام تردد سایر روش‌های تخصیص با سطوح مختلف پیچیدگی و فروض ساده کننده، با این روش مرسوم می‌تواند قابل توجه باشد. در این راستا توزیع احتمال خطا در بازه‌های مختلف به تفکیک روش تخصیص تعیین و بررسی شده است. به منظور مقایسه‌ی این توزیع‌ها با توزیع احتمال خطا در روش مرسوم تعادل کاربر شکل (۱) از آزمون کولموگروف ـ اسمیرنوف (K-S)[1] که به طور کلی برای مقایسه‌ی دو توزیع احتمال به کار می‌رود، استفاده خواهد شد. در این آزمون، اختلاف مقادیر احتمال تجمعی در بازه‌های مختلف از دو توزیع، مد نظر قرار گرفته و بیشینه‌ی این اختلاف با مقدار بحرانی

1 Kolmogorov-Smirnov Test

www.SID.ir

Archive of SID

مربوطه (با توجه به درجه‌ی آزادی و درجه‌ی اطمینان) قیاس می‌شود. فرض صفر در این آزمون، یکسان بودن توزیع احتمال دو روش تخصیص است که در صورت بیشتر بودن آماره‌ی آزمون از مقدار بحرانی، می‌توان آن را رد کرد.

شکل ۱. توزیع تجمعی فراوانی خطای برآورد حجم تردد برای روش‌های مختلف تخصیص ترافیک

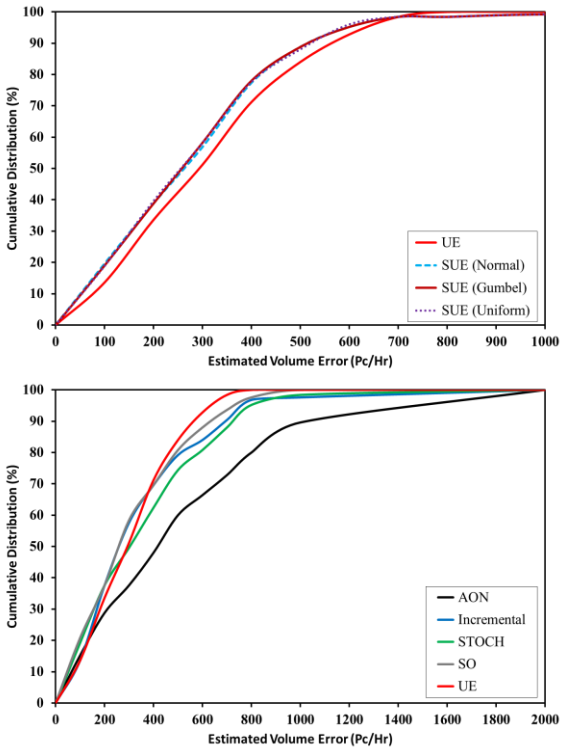

Fig. 1. Cumulative Distribution of Estimated Traffic Volume Error in Traffic Assignment Methods

با توجه به درجه‌ی آزادی آزمون (تعداد ۱۲۵ کمان منتخب) و سطح اطمینان ۹۹ درصد، مقدار بحرانی آماره برابر ۱۵ درصد بدست می‌آید. به این ترتیب به جز روش همه یا هیچ (با مقدار آماره‌ی برابر ۲۶)، یکسان بودن توزیع احتمال خطا در سایر روش‌ها را با تعادل کاربر، در سطح اطمینان ۹۹ درصد، نمی‌توان رد کرد. این نکته قابل توجه است که باوجود مدل‌سازی‌های پیچیده و الگوریتم‌های مشکل در روش‌های تخصیص تصادفی، توزیع خطا تغییر معنی‌داری نداشته و دقت روش بهبود نیافته است.

۵- بحث و نتیجه‌گیری

در ادبیات موضوع تخصیص ترافیک تاکنون روش‌های بسیاری با فرض و تحلیل‌های متنوع ارائه شده ولی مقایسه‌ی تطبیقی آنها در دقت برآورد نتایج احجام واقعی کمتر مشاهده می‌شود. هدف اصلی در این پژوهش، تحلیل کمی نقش روش‌ها و فرض‌های مختلف بر نتایج تخصیص ترافیک استاتیک و بر برآورد حجم تردد در کمان‌های شبکه‌ی معابر است. به همین دلیل نتایج روش‌های مختلف تخصیص شامل قطعی، تصادفی، تعادلی و غیرتعادلی (تعداد ۸ روش از همه یا هیچ تا تعادل تصادفی کاربر)، مورد بررسی و ارزیابی قرار گرفت. برای پیاده‌سازی این مفاهیم به شکل کمی، از مدل شبکه معابر شهر قزوین با ۱۱۳ ناحیه ترافیکی و حدود ۴۰۰ هزار نفر جمعیت، به عنوان مطالعه موردی، استفاده شد.

مقایسه روش‌های مختلف تخصیص از دو منظر کلان و خرد و از طریق معیارهایی نظیر کل مسافت پیموده شده در شبکه، کل زمان سفر صرف شده در شبکه، میزان آلاینده تولید شده و مقدار سوخت مصرفی، و همچنین شاخص‌های جزئی‌تر مانند مقایسه‌ی حجم مشاهده و برآورد شده در تعداد ۱۲۵ کمان منتخب استفاده شده است. نتایج اجرای تخصیص ترافیک برای هشت روش مختلف، در شرایط عرضه و تقاضای شهر قزوین در این مطالعه، نشان می‌دهد که:

۱ـ در روش‌های تخصیص همه یا هیچ و تخصیص تصادفی، به دلیل عدم وابستگی زمان سفر کمان به حجم تردد، شاخص‌های کلان شبکه با سایر روش‌ها تفاوت قابل ملاحظه‌ای دارد (بیشتر از ۱۵ درصد).

۲ـ از منظر شاخص‌های کلان شبکه، روش‌های تعادلی قطعی و تصادفی با یکدیگر و حتی با روش تخصیص جزئی و بهینگی سیستم، تفاوت چندانی ندارند (کمتر از ۱ درصد).

۳ـ در همه‌ی روش‌های تخصیص، مقادیر میانگین (حدود ۲۰ درصد) و بیشینه‌ی (بیش از ۱۰۰ درصد) خطای برآورد حجم به صورت قابل توجهی زیاد است.

۴ـ با وجود مشابهت شاخص‌های کلان شبکه در روش‌های مختلف تخصیص، میزان خطای برآورد حجم در کمان‌ها می‌تواند بسیار متفاوت و پراکنده باشد.

۵ـ روش‌های مختلف تخصیص تعادلی از نظر برازندگی مقادیر برآورد شده به احجام مشاهده شده، چندان با یکدیگر متفاوت نبوده و همگی در حد مقبولی از دقت هستند (ضریب خوبی برازش

www.SID.ir

Archive of SID

حدود ۰/۸۸).

٦ـ با وجود وجود خطاهای زیاد بین مشاهده و برآورد (تا حدود ۲۰۰ درصد و با میانگین ۲۰ درصد)، رگرسیون خطی پرداخت شده می‌تواند نزدیک نیمساز بوده و برازندگی مناسبی نیز داشته باشد. این موضوع نشان دهنده تفاوت روش‌های مختلف ارزیابی و مقایسه نتایج بوده بنابراین در استفاده از آنها باید دقت شود.

۷ـ با وجود فرض‌ها، مدل‌ها و الگوریتم‌های متفاوت و پیچیده در روش‌های مختلف تخصیص، توزیع احتمال خطا در برآورد حجم تغییر معنی‌داری نداشته است (نتایج آزمون K-S).

۸ـ با توجه به توزیع احتمال خطای برآورد مدل‌های تخصیص (با مقادیر نسبتاً قابل توجه میانگین و انحراف معیار حدود ۲۰ درصد)، تحلیل و ارزیابی تغییرات کوچکی همچون احداث تقاطع غیرهمسطح، پیاده‌راه سازی، تعریض، یک‌طرفه سازی و ... (با تغییرات کمتر از ۱۰ درصد در نتایج تخصیص شبکه) از طریق نتایج کلی تخصیص باید با دقت و توجه بیشتری انجام شود.

نتایج بدست آمده در این پژوهش برای شرایط عرضه و تقاضای خاص شهر قزوین بوده و ممکن است برای سایر شهرها قابل تعمیم نباشد. البته، نتایج پژوهش حاضر منحصر به همین شهر نیز نبوده و در صورت تشابه شرایط، می‌تواند برای سایر شهرها قابل استفاده باشد. انتقال پذیری و تعمیم مکانی و زمانی نتایج این پژوهش نیازمند مطالعه بیشتر و دقیق‌تر است.

در این مطالعه‌ی تعداد محدودی روش تخصیص از طریق معیارهای مشخص در شرایط عرضه و تقاضای مشخص شهر قزوین با یکدیگر مقایسه شدند. از آنجا که تعداد این روش‌ها و معیارهای سنجش می‌تواند بیشتر باشد، بررسی سایر روش‌های تخصیص، در نظر گرفتن معیارهای متفاوت دیگر و بررسی شبکه معابر شهرهای بزرگتر به عنوان مطالعه موردی، می‌توانند به عنوان موضوعات پیشنهادی در مطالعات آینده مطرح باشند. به علاوه با توجه به نتایج بدست آمده از تحلیل تطبیقی در این مطالعه، ایجاد و استفاده از روش‌های بهبود یافته‌ی تخصیص ترافیک با فرض‌ها و نتایج مشابه‌تر به شرایط واقعی پیشنهاد می‌شود.

٦- تعارض منافع

نویسندگان اعلام می‌کنند که هیچ گونه تعارض منافعی وجود ندارد.

۷- منابع References

1.Sheffi Y. and Powell W., 1979, "A Comparison of Stochastic and Deterministic Traffic Assignment Over Congested Networks", Transportation Research Part B.

2.Cheng Y. and Tzeng G., 2001, "Using Fuzzy Integral for Evaluating Subjectively Perceived Travel Costs in a Traffic Assignment Model", European Journal of Operation Research.

3.Saw K., Katti B.K. and Joshi G., 2015, "Literature Review of Traffic Assignment: Static and Dynamic", International Journal of Transportation Engineering, Vol. 2, No. 4, pp. 339-347.

4.Bell M.G.H., 1995, "Alternative to Dial's Logit Assignment Algorithm", Transportation Research Part B.

5.Sheffi Y., 1985, "Urban Transportation Networks", Englewood Cliffs NJ: Prentice Hall.

6.Gentile G., 2014, "Local User Cost Equilibrium: a bush-based algorithm for traffic assignment", Transportmetrica A: Transport Science 10, 15-54.

7.Gentile G., 2015, "Using the General Link Transmission Model in a Dynamic Traffic Assignment to simulate congestion on urban networks", Transportation Research Procedia 5, pp. 66-81.

8.Taale H. and Pel A., 2015, "Better Convergence for Dynamic Traffic Assignment Methods", Transportation Research Procedia 10, pp. 197-206.

9.Rosa A. and Maher M., 2002, "Stochastic User Equilibrium Traffic Assignment with Multiple User Classes and Elastic Demand", The Proceedings of the 13th Mini-Euro Conference and 9th Meeting of the Euro Working Group on Transportation Bari Italy, pp. 392-397.

10.Pravinvongvuth S. et al., 2003, "A Stochastic Traffic Assignment Model Which Overcomes Path Overlapping Problems", Proceedings of the Eastern Asia Society for Transportation Studies, Vol. 4, pp. 914-928.

11.Shafahi Y. and Ramezani H., 2007, "Application of Fuzzy Theory for Traffic Assignment", Proceeding Modeling and Simulation Montreal.

12.Aashtiani H.Z. and Magnanti T.L., 1981, "Equilibrium on a Congested Transportation Network", SIAM Journal on Algebraic and Discrete Methods, pp. 231-226.

13.Leblank S., Morlok E. and Pierskalla W., 1975, "An Efficient Approach to Solving the Road Network Equilibrium Traffic Assignment Problem", Transportation Science, pp. 209-218.

www.SID.ir

Archive of SID

14.Van Der Weijde A. H., Vincent AC and Erik T., 2013, "Stochastic User Equilibrium Traffic Assignment with Price-sensitive Demand: Do Methods matter (much)?", Tinbergen Institute Discussion Paper, No. 13-209/VIII.

15.Sheffi Y. and Powell W., 1998, "An Algorithm for the Equilibrium Assignment Problem with Random Link Times", Networks, pp. 191-207.

16.Fisk C., 1980, "Some Developments in Equilibrium Traffic Assignment", Transportation Research, pp. 243-255.

17.Bekhor S. and Prashkar J., 1999, "Formulations of Extended Logit Stochastic User Equilibrium Assignments", Proceedings of the International Symposium on Transportation and Traffic Theory, pp. 351-372.

18.Maher M., 1998, "Algorithms for Logit-Based Stochastic User Equilibrium Assignment", Transportation Research Part B, pp. 539-549.

19.Dial R.B., 2002, "Equilibrium Logit Traffic Assignment: Elementary Theory and Algorithms", Transportation Research Part B, pp. 231-243.

20.Damberg O., Lundgren J.T. and Patriksson M., 1996, "An Algorithm for the Stochastic User Equilibrium Problem", Transportation Research Part B, pp. 115-131.

21.Larsson T. and Patriksson M., 1992, "Simplicial Decomposition with Disaggregated Representation for the Traffic Assignment Problem", Transportation Science, pp. 445-462.

22.Bekhor S. and Toledo T., 2005, "Investigating Path-Based Solution Algorithms to the Stochastic User Equilibrium", Transportation Research Part B, pp. 279-295.

23.Bertsekas D.P. and Gafni E., 1982, "Projection Methods for Variational Inequalities with Application to the Traffic Assignment Problem", Mathematical Programming Study, pp. 139-159.

24. Chen M. and Alfa A.S., 1991, "Algorithm for Solving Fisk's Stochastic Traffic Assignment Model", Transportation Research Part B, pp. 405-412.

25.Huang H., 1995, "A Combined Algorithm for Solving and Calibrating the Stochastic Traffic Assignment Model", Journal of Operational Research Society, pp. 977-987.

26.Naudon A., 2010, "A Stochastic Assignment Model", Banco Central de Chile.

27.Watling D., 2006, "User Equilibrium Traffic Network Assignment With Stochastic Travel Times And Late Arrival Penalty", European journal of operational research 175 (3), pp. 1539-1556.

28.Shao H., Lam W. and Tam M., 2006, "Reliability-Based Stochastic Traffic Assignment Model for Network With Multiple User Classes Under Uncertainty in Demand", Journal of Networks and Spatial Economics, pp. 173-204.

29.Caliper Corporation, 2015, "Traffic Assignment and Feedback Research to Support Improved Travel Forecasting", Federal Transit Administration.

30.Haghani M., Shahhosseini Z. and Samimi A., 2013, "On Calibration and Application of Logit-Based Stochastic Traffic Assignment Models", International Journal of Transportation Engineering, Vol. 1, pp. 151-172.

31.Haghani M., Shahhosseini Z. and Sarvi M., 2014, "Probit-Based Traffic Assignment: A Comparative Study between Link-Based Simulation Algorithm and Path-Based Assignment and Generalization to Random-Coefficient Approach", International Journal of Transportation Engineering, Vol. 2, pp. 179-198.

32.Mamdoohi A. R., Mahpur A. R. and Mahpur A. R., 2013, "The Study of Classical Traffic Assignment Methods Results for Their Application in Urban Areas", The Journal of Traffic Management Studies, No. 28 (in Persian).

33.Arman Taradod Pars (ATP) firm and AtieSaz Company, 2013, Qazvin City Traffic Assignment Model, Qazvin Transportation and Traffic Master Plan (in Persian).

www.SID.ir

Archive of SID

Modares Civil Engineering Journal (M.C.E.J) Vol.19, No.2, June. 2019

Comparative Analysis of Deterministic and Stochastic Traffic Assignment Methods for Estimating the Actual Traffic Volume

Mehdi Bashirnia [1], Amir Reza Mamdouhi [2 *]

1- PHD student, Faculty of Civil and Environmental Engineering, Tarbiat Modarres University, Tehran, Iran
2- Associate Professor, Faculty of Civil and Environmental Engineering, Tarbiat Modarres University, Tehran, Iran

armamdoohi@modares.ac.ir

Abstract

Results of traffic assignment models are the main output of transportation planning studies and decision making for future developments is based on these results. Therefore, accuracy of these models is very important. Despite the mentioned importance, comparing the models and their solving methods to estimate actual traffic volume and network performance measures is rarely considered in previous studies. The traffic assignment process has started from the simplest methods like All-or-Nothing, then it has developed using the rules and supplement assumptions such as Wardrop principles and finally it has evolved by concepts such as Fuzzy theory. Traffic assignment models can be categorized by various factors into several groups: deterministic vs. stochastic, congestion considering vs. unconstrained capacity and being equilibrium or not. The main goal of this paper is a comparative and quantitative analysis of various traffic assignment methods to estimate the observed traffic volumes. In this regard, the main questions that this study seeks to answer is as follows: 1- Do the results of various traffic assignment methods have a significant difference in terms of overall network indices? 2- Is there a significant difference in the accuracy of traffic volume estimation in various traffic assignment methods? In this study various traffic assignment methods such as All-or-Nothing, Incremental, Stochastic, User Equilibrium, Stochastic User Equilibrium and System Optimum have been examined. To compare the results of traffic assignment methods, in addition to estimated link volumes, various performance measures such as vehicle-kilometers traveled, vehicle-hours traveled, fuel consumption and air pollutants emission are also used. In this regard the city of Qazvin is selected as a case study. This city has more than 400 thousands inhabitant, near 46 square kilometers area, 113 traffic analysis zone (TAZ) and its network has 2300 directional links and 1200 nodes. The results of applying these methods in Qazvin city network show that various traffic assignment methods based on User Equilibrium, despite different assumptions, have no significant difference in estimating the overall network performance measures as well as estimating traffic volume in links (correlation between estimated and actual link volumes using all of these models is approximately 0.88). But the other methods, which do not consider equilibrium assumption and volume-delay functions, produce different results (correlation between estimated and actual link volumes using all of these models is approximately 0.70). Although estimated link volumes in some of traffic assignment models are significantly different, overall network performance measures are approximately the same. In all of assignment models the differences between estimated and actual link volumes in average are high which are not negligible (approximately 20 percent). In addition to high average error in estimating link volumes, the distribution of these errors has significantly high standard deviation (approximately 20 percent). In spite of different and complicated assumptions, models and solving algorithms in various traffic assignment methods, on basis of Kolmogorov-Smirnov (K-S) test results, the distribution of links volume estimation error is not significantly different. According to this fact, it seems that should be careful in using the results of traffic assignment models to compare and assess minor network improvement alternatives, such as changing conventional streets function to pedestrian streets, upgrading intersections to interchanges, cross section widening, traffic signals optimization and changing traffic direction in streets.

Keywords

Deterministic Traffic Assignment Methods, Stochastic Traffic Assignment Methods, Route Choice, Discrete Choice, Logit Model

www.SID.ir