تعیین تعداد بهینه اتصال بر اساس معیار نزدیکی نتایج تخصیص به مشاهدات حجم در کمان: مطالعه موردی شهر مشهد

امیررضا ممدوحی (نویسنده مسئول)، استادیار، دانشکده مهندسی عمران و محیط زیست، دانشگاه تربیت مدرس، تهران، ایران
علیرضا ماهپور، دانشجوی کارشناسی ارشد، دانشکده عمران و محیط زیست، دانشگاه تربیت مدرس، تهران، ایران
محمد دیندار، کارشناس ارشد، دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه تربیت مدرس، تهران، ایران
Email: armamdoohi@modares.ac.ir

Archive of SID

چکیده

اهمیت پیش‌بینی حجم جریان در کمانها برای برنامه‌ریزی و سیاست‌گذاری دقیق و قوی، بررسی تأثیر اتصالها به‌عنوان یکی از اجزاءِ شبکه و تعیین تعداد بهینه آنها برای ناحیه‌های ترافیکی را می‌طلبد. مطالعات نسبتا اندکی به بررسی تاثیر تعداد اتصالها بر نتایج تخصیص ترافیک پرداخته‌اند، ولی این مطالعات نشان داده‌اند که اتصالها دارای نقش اساسی در این فرآیند هستند. هدف و نوآوری این مقاله تعیین تعداد بهینه اتصال ناحیه‌های ترافیکی بر اساس معیار نزدیکی نتایج تخصیص به مشاهدات حجم در کمان است که برای مطالعه موردی شهر مشهد پیاده‌سازی می‌شود. نتایج تحلیل آماری توصیفی نشان می‌دهد که برای سناریوی یک اتصال، کمینه، بیشینه و انحراف معیار قدرمطلق خطا نسبت به سایر سناریوها کمترین مقدار را دارد، ولی میانگین قدرمطلق خطای سناریوی پنج اتصال کمی بهتر از سناریوی یک اتصال است. این درحالی است که انحراف معیار سناریوی پنج اتصال بیشترین مقدار را داشته و از نظر سایر شاخصها نیز به خوبی سناریوی یک اتصال نیست. با افزایش تعداد اتصال، نه تنها برآورد حجم در کمان (ناشی از تخصیص تعادلی کاربر) لزوماً به مشاهده نزدیک نمی‌شود، بلکه می‌تواند باعث کاهش دقت در بازسازی مشاهدات باشد، به‌طوری که برای نمونه موردی شهر مشهد میزان ضریب خوبی برازش از مقدار ۰/۵٤ برای یک اتصال به ۰/۳۸ برای ۶ اتصال کاهش می‌یابد. نتایج نشانگر آن است است که برای شبکه‌ای مانند شبکه معابر شهر مشهد و تقاضای اوج صبح، خروجی فرآیند تخصیص ترافیک با تعداد یک اتصال برای هر ناحیه ترافیکی دارای بیشترین نزدیکی به مشاهده حجم در کمان است و افزایش تعداد اتصال باعث کاهش دقت در بازسازی مشاهدات می‌شود.

واژه‌های کلیدی: تعداد اتصال، بهینه‌سازی، تخصیص ترافیک تعادلی کاربر، حجم در کمان.

www.SID.ir

۱. مقدمه

از مهم ترین مسائل در تحلیل سفرهای شهری، پیش‌بینی حجم جریان در کمانهای شبکه متراکم برای برنامه‌ریزی و سیاست‌گذاری درست، دقیق و قوی است[Kanafani, 1983]. فرآیند برآورد جریان در کمانها معروف به مسأله تخصیص ترافیک و آخرین مرحله از مدل چهار مرحله‌ای کلاسیک است [Ortuzar and Willumsen, 2004]. این فرآیند در بعد عرضه، ازجمله مستلزم ناحیه‌بندی، تعیین مراکز سطح و اتصال[1] آنها به شبکه حمل و نقل است. نقش اتصال، به عنوان یک کمان مجازی و کمکی، ایجاد ارتباط بین تقاضای هر ناحیه (مرکز آن ناحیه) و شبکه حمل و نقل به عنوان عرضه است. از این نظر، اتصال دارای اهمیت، جایگاه و حساسیت ویژه‌ای در فرآیند تخصیص ترافیک است. علی‌رغم این اهمیت، مطالعات نسبتا اندکی به بررسی نقش اتصال در نتایج تخصیص ترافیک پرداخته‌اند، ولی این مطالعات نشان داده‌اند که اتصالها دارای نقش اساسی در این فرآیند هستند.

کتابهای مرجع نیز کمتر به نحوه ایجاد و تحلیل تأثیر تعداد آنها پرداخته‌اند [Friedrich and Galster, 2009].

ژن و همکاران به بررسی تاثیر تعداد اتصالها روی نتایج تخصیص ترافیکی ایستا[2] پرداخته و برای این منظور، ترکیب تعداد اتصالهای مختلف بر روی نتایج جریان ترافیکی را در قالب سه شبکه (یک شبکه فرضی، شبکه SR-41 ایالت کالیفرنیا و شبکه شهر ساکرامنتو) مورد بررسی قرار دادند. این تحقیق نشان می‌دهد که نتایج تخصیص ترافیکی ایستا نسبت به انتخاب اتصالها حساس است و نتایج تخصیص با افزایش تعداد اتصالها بهبود نمی‌یابد. به‌عبارت دیگر، تعداد اتصالهای زیاد اغلب موجب زیر برآورد[3] زمان سفر کل شبکه و متوسط حجم ترافیک کمانها می‌شود. در انتها این مقاله به ارائه یک الگوریتم بهینه‌سازی تعداد اتصالها و زمان سفر آنها می‌پردازد، به‌گونه‌ای که بیشینه نسبت حجم به ظرفیت (V/C) در کمانهای مستقیماً متصل به اتصالها حداقل شود [Qian and Zhang, 2010]. نتایج حاصل از این تحقیق نشان می‌دهد که:

۱- الگوهای جریان ترافیکی (شامل نسبت V/C، زمان سفر در شبکه و حجم کمانها) به‌صورت قابل توجهی متاثر از چگونگی انتخاب ترکیب اتصالهاست.

۲- افزایش بی‌رویه تعداد اتصالها نتایج دلخواه را ایجاد نمی‌کند و در حالت کلی می‌تواند باعث زیربرآورد زمان سفر کل شبکه شود.

۳- تعداد اتصال بسیار کم موجب افزایش تراکم ترافیکی به‌صورت تصنعی در برخی از کمانهای شبکه می‌شود.

فردریش و همکاران نشان داده‌اند که اثر اتصالها روی نتایج تخصیص غیر قابل انکار است و چند روش برای انتخاب تعداد اتصالها و تعیین زمان سفر ثابت برای آنها ارائه کرده‌اند. اولین روش پیشنهادی آنها ایجاد تنها یک اتصال برای هر ناحیه ترافیکی است. در روش دوم، هر ناحیه ترافیکی به زیرناحیه‌هایی تقسیم می‌شود و به‌ازای هر زیرناحیه یک اتصال ایجاد می‌شود. در روش سوم با استفاده از یک فرآیند وزن‌دهی به گرهها، گره‌های با وزن بیشتر (طی یک فرآیند تکراری) به عنوان گرههای اتصال[4] منظور می‌شوند. روشهای چهارم و پنجم براین فرض استوار هستند که گره‌های اتصال در اطراف یک مرکز ناحیه[5] با شعاع ثابت قرار دارند. تفاوت این دو روش در نحوه تعیین شعاع ثابت است: در روش چهارم، یک عدد ثابت برای شعاع در نظر گرفته می‌شود، درصورتی‌که در روش پنجم با استفاده از یک رابطه ریاضی (تابعی از ویژگی‌های ناحیه) شعاع ثابت به‌دست می‌آید. این پژوهشگران برای ارزیابی روشهای مختلف از معیاری بر اساس زمان سفر استفاده کرده و نشان داده اند که برای شبکه‌های مختلف با اندازه‌های متفاوت، روش یک و پنج بهترین جوابها را با توجه به این معیار به‌دست می‌دهند [Friedrich and Galster, 2009].

مقاله حاضر به بررسی و تعیین تعداد بهینه اتصال نواحی ترافیکی بر اساس معیار نزدیکی نتایج تخصیص تعادلی کاربر[6] به حجم مشاهده شده در کمان می‌پردازد و مفاهیم پیشنهادی را برای مطالعه موردی شهر مشهد پیاده‌سازی می‌کند. شایان ذکر است که تا بحال از این معیار برای تعیین تعداد بهینه اتصال استفاده نشده است. ساختار مقاله به این شکل است که در بخش بعدی روشهای تعیین اتصالها و مبانی نظری آنها و در بخش سوم ویژگیهای نمونه موردی شهر مشهد شامل محدوده مورد مطالعه، شبکه معابر

Archive of SID
www.SID.ir

شهر مشهد و ماتریس تقاضای مبدأ- مقصد ارائه می‌شوند. بخش چهارم به نتایج مدل‌سازی فرآیند تخصیص و تحلیل آنها و بخش آخر نیز به نتیجه‌گیری و پیشنهادات می‌پردازد.

۲. روش‌شناسی پژوهش

مسأله تعیین تعداد بهینه اتصالها، علی‌رغم اهمیت آنها، کمتر مورد توجه و بررسی قرار گرفته است و مطالعات صورت گرفته نیز، به اهمیت نقش آنها اشاره داشته‌اند. در این مطالعات، برای اثرسنجی روشهای ارائه شده در برخی موارد از شبکه‌های واقعی استفاده شده ولی از دقت بازسازی مقدار حجم شمارش شده در کمانها به‌عنوان ملاک اصلی ارزیابی استفاده نشده است. در این مقاله برای هر ناحیه ترافیکی، تعداد مختلف اتصال (تا ٦ اتصال برای هر ناحیه) بر اساس معیار نزدیکی گره اتصال تا مرکز ناحیه تعریف می‌شود. به این ترتیب، میزان تقاضای سفر متمرکز در مرکز هر ناحیه از طریق تعداد مختلفی اتصال به شبکه معابر خیابانی (شبکه‌ی حمل و نقل) متصل شده و حجم جریان در این اتصالها و کمانهای شبکه (بخصوص در مجاورت گرههای اتصال) به طرق و نسبتهای مختلف توزیع می‌شود. افزایش تعداد اتصالها، طبیعتا، باعث توزیع بیشتر حجم جریان در کمانها می‌شود، در صورتی که برای یک اتصال، تمام حجم جریان، محدود به استفاده از همان اتصال و گره اتصال مربوطه است. به این ترتیب چگونگی توزیع حجم جریان در شبکه تغییر می‌یابد. این فرآیند، برای یک مسأله واقعی با شبکه متراکم (شبکه معابر شهر مشهد)، پیاده‌سازی و اجرا می‌شود. برای انتخاب تعداد بهینه اتصال، سناریوهای مختلف شبکه با تعداد اتصال مختلف برای هر ناحیه تهیه شده و تقاضای یکسانی به آنها تخصیص داده می‌شوند و از دقت بازسازی حجم کمانها به روش تخصیص تعادلی کاربر برای ارزیابی سناریوهای مختلف استفاده می‌شود. برای این منظور ماتریس تقاضای مبدأ- مقصد سال ۱۳۸۷ شهر مشهد به روش تخصیص ترافیک تعادلی به شبکه معابر شهری تخصیص داده شده و نتایج به‌دست آمده (حجم جریان تعادلی) با مقادیر مشاهدات مقایسه می‌شود.

شایان ذکر است که ایجاد حداکثر شش اتصال برای هر ناحیه ترافیکی امکان‌پذیر است، زیرا اتصال هفتم، برای برخی از ناحیه‌ها به گرهی خارج از ناحیه متصل شده و باعث می‌شود که بخشی از این اتصالها در ناحیه مزبور قرار نگیرد. علاوه بر این مشاهده شد که افزایش بیشتر تعداد اتصالها به بهبود نتایج کمک نمی‌کند.

۲-۱ مسأله تخصیص تعادل استفاده کننده

چگونگی ارتباط بین تقاضای مبدأ- مقصد از یک طرف و جریان در کمان از طرف دیگر برای یک شبکه حمل و نقل مشخص، از مسائل تخصیص ترافیک است که به روشهای متنوعی برای فرضهای مختلف قابل انجام است. در برنامه‌ریزی حمل و نقل، برآورد جریان در کمانها و مسیرهای شبکه مورد مطالعه (از خروجیهای فرآیند تخصیص ترافیک) [Kafani, 1983] معمولاً مبتنی بر اصل اول واردروپ و مفهوم جریان تعادلی است. روشهای مختلف تخصیص ترافیک بر پایه فرضهای متفاوت مبتنی هستند که اهم آنها فرض رفتاری است. در فرض رفتاری که منجر به تخصیص تعادلی می‌شود، هر مسافر به نحوی رفتار می‌کند که زمان سفر خود را کمینه کند، در نتیجه زمان سفر در مسیرهای استفاده شده با هم مساوی بوده و کمتر از زمان سفر در مسیرهای استفاده نشده بین هر زوج مبدأ- مقصد است [Ort -zar, 2004]. به این ترتیب، در یک سیستم حمل و نقل با عرضه و تقاضای ثابت، در اثر رفتار استفاده‌کنندگان، یک جریان تعادلی به وجود میآید. در شبکه متراکم، ترافیک خود را طوری تنظیم می‌کند که هیچ مسافری به صورت یک‌جانبه با تغییر مسیر قادر به بهبود زمان سفر خود نباشد[Patrikson, 2003]. این مسأله را بکمن در سال ۱۹٥٤ به شکل یک برنامه ریاضی کمینه‌سازی تبدیل کرد که جواب آن، همان جریان و زمان سفر تعادلی است [Beckman, et.al, 1956]. اگر $t_a(w)$ تابع عملکرد کمان a، f^{rs}_k مقدار جریان در kامین مسیر بین مبدأ r و مقصد s، q^{rs} میزان تقاضای سفر بین مبدأ r و مقصد s، x_a حجم جریان در کمان a و $\delta^{rs}_{a,k}$ متغیر صفر و یک (اگر کمان a در k امین مسیر بین مبدأ r و مقصد s باشد یک و در غیر این صورت صفر) باشند، مدل ریاضی تخصیص تعادلی کاربر (مسأله بکمن) به صورت زیر

www.SID.ir
Archive of SID

فرمول‌بندی می‌شود:

$$\min z(x) = \sum_{a} \int_{0}^{x_a} t_a(\omega)\, d\omega \qquad (۱)$$

$$st: \quad \sum_{k} f_{k}^{rs} = q_{rs} \qquad (۲)$$

$$f_{k}^{rs} \geq 0 \qquad (۳)$$

$$x_a = \sum_{r} \sum_{s} \sum_{k} f_{k}^{rs}\, \delta_{a,k}^{rs} \qquad (٤)$$

در این فرمول‌بندی، تابع هدف مسأله (رابطه ۱) کمینه‌سازی مجموع مساحت زیر نمودار تابع عملکرد تمام کمانهای شبکه است. رابطه ۲ اصل بقای جریان در شبکه را تضمین می‌کند، به این معنی که مجموع جریان تمام مسیرها بین هر مبدأ- مقصد با تقاضای سفر آن مبدأ- مقصد مساوی است و تمام تقاضای سفر بین هر مبدأ- مقصد باید به یکی از مسیرهای آن مبدأ- مقصد تخصیص داده شود. رابطه ۳ شرط نامنفی بودن جریان در مسیر k ام بین مبدأ r و مقصد s و رابطه‌ی ٤ محدودیت تعریفی[۷] (جریان در کمان a برابر مجموع جریان در تمام مسیرهایی است که کمان a در آنها قرار دارد) هستند[Sheffi, 1985].

۳. ویژگیهای نمونه موردی شهر مشهد

برای پیاده‌سازی مفاهیم پیشنهادی، بررسی و ارزیابی نتایج برای یک مسأله واقعی با ابعاد بزرگ، شهر مشهد با توجه به غنای اطلاعاتی آن به عنوان مطالعه موردی انتخاب شده است. شهر مشهد با مساحتی بالغ بر ۱۹۵ کیلومتر مربع و جمعیتی در حدود ۲/۵ میلیون نفر دومین شهر بزرگ ایران و دارای شبکه‌ای بزرگ و متراکم است [پنجمین آمارنامه حمل و نقل شهر مشهد]. با توجه به ابعاد شهر مشهد، چه از نظر ویژگیهای عرضه و چه از نظر ویژگیهای تقاضا، نمونه واقعی و بزرگی را معرفی می‌کند که در ادامه به آنها پرداخته می‌شود.

۳-۱ شبکه معابر شهر مشهد

در بررسی ابعاد عرضه و تقاضای کلان‌شهر مشهد، شبکه معابر بزرگ و گسترده و ماتریس مبدأ- مقصد دارای جایگاهی ویژه و مهم هستند. شبکه معابر شهری مشهد متشکل از ۳۸۳۰ کمان، ۱۳٤۱ گره و ۱٤۱ ناحیه است. برای مشهد ۱۱ نوع مختلف معبر با توجه به نحوه عملکرد ترافیکی آنها شامل دسترسی، جمع کننده، شریانی، تندراه، رمپ و سایر با طولی معادل ۱٤٤۷ کیلومتر تعریف شده است. در جدول ۱ انواع، فراوانی و مجموع طول به تفکیک انواع راه‌های موجود در شبکه معابر شهر مشهد ارائه شده است [مهندسین مشاور طرح هفتم، ۱۳۷۸].

با بررسی ویژگیهای شبکه، مشخص می‌شود که معابر با عملکرد جمع‌کننده دارای بیشترین فراوانی (۱۰۰۲) و بیشترین طول (حدود ٤۳۱ کیلومتر) و شریانی درجه دو واقع در منطقه تجاری دارای کمترین فراوانی (۵۸) و طول (۱۹ کیلومتر)هستند. در شکل ۱ شبکه معابر شهر مشهد، به عنوان یکی از ورودیهای اصلی مدل تخصیص ترافیک، نمایش داده شده است.

۳-۲ ناحیه‌بندی

در بررسی نقش اتصال و تعداد بهینه آن، ناحیه‌بندی محدوده مورد مطالعه نقش بارز و اساسی دارد. نواحی ترافیکی ۱٤۱ گانه شهر مشهد، در شکل ۲ نشان داده شده‌اند. مشاهده می‌شود، که نواحی مرکزی شهر دارای مساحت کم و نواحی حومه شهر مساحت بیشتری دارند. کوچک ترین ناحیه دارای ۰/۷ کیلومتر مربع مساحت و بزرگ ترین ناحیه ۲۱ کیلومتر مربع مساحت دارد [مهندسین مشاور طرح هفتم، ۱۳۸۷].

۳-۳ ماتریس تقاضا مبدأ- مقصد شهر مشهد

طبیعی است که نتایج تخصیص سفر علاوه بر ویژگیهای شبکه، بستگی به ماتریس تقاضای سفر نیز دارد. ماتریس تقاضای سفر یک ساعت اوج صبح مشهد به تفکیک ۵ نوع وسیله نقلیه (وسیله نقلیه شخصی، تاکسی، دوچرخ، مینی‌بوس و اتوبوس) بر حسب همسنگ سواری برای تمام اهداف سفر محاسبه و به شبکه تخصیص داده می‌شود [مهندسین مشاور طرح هفتم، ۱۳۷۸].

Archive of SID

www.SID.ir

جدول ۱. مشخصات کمان‌های تعریف شده در مطالعات جامع حمل و نقل شهر مشهد [Navidi, 2010]

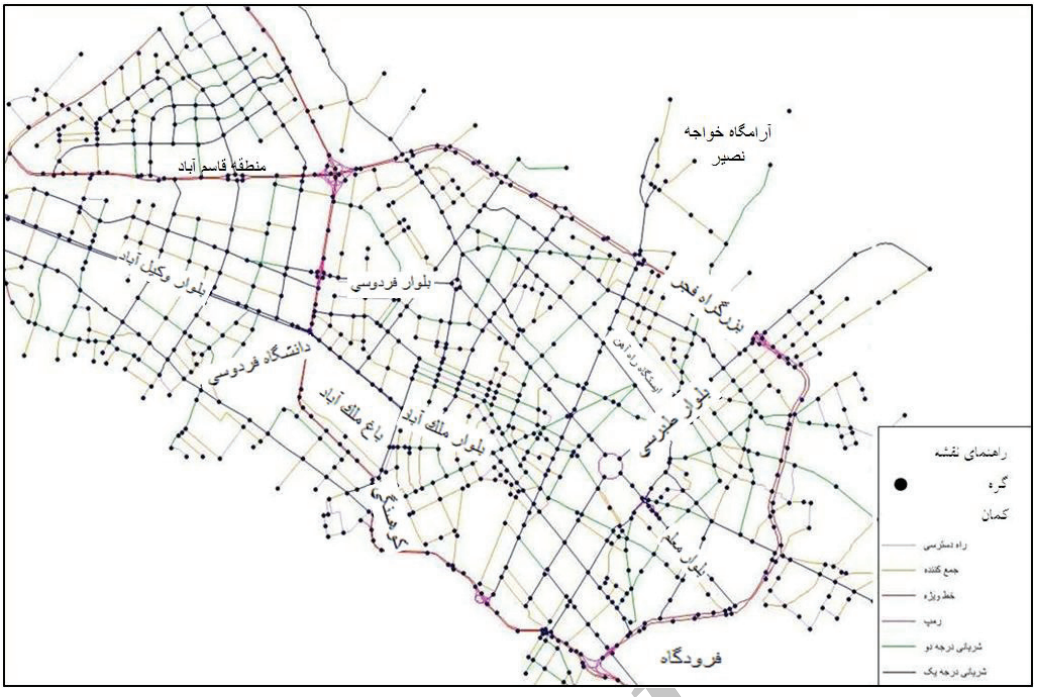
ردیف	نوع کمان	فراوانی	فراوانی نسبی (درصد)	طول (Km)
۱	دسترسی	۱۹۸	۵	۸۳/٤۲٦
۲	جمع کننده	۱۰۰۲	۲٦	٤۳۱/۱۳۳
۳	شریانی درجه دو (تجاری)	۵۸	۱/۵	۱۸/۹۳۱
٤	شریانی درجه دو (غیرتجاری)	۵۰٤	۱۳	۲۱۹/۳۰۲
۵	شریانی درجه دو (یک‌طرفه)	۱۰٤	۲/۵	۳۱/۵۰۳
٦	**مجموع راههای شریانی درجه دو**	**٦٦٦**	**۱۷**	**۲٦۹/۳۷۳**
۷	شریانی درجه یک (بلوار با عرض یا میانه کم)	۱۵۲	٤	۵٦/۱۲۸
۸	شریانی درجه یک (بلوار با عرض زیاد)	٦۹۸	۱۸	۲۹۷/٤۵۷
۹	**مجموع راه‌های شریانی درجه یک**	**۸۵۰**	**۲۲**	**۳۵۳/۵۸۵**
۱۰	تندراه	۵۸۰	۱۵	۲۲٦/۷٦٦
۱۱	رمپ	۳۸۸	۱۰	٦۵/۳۱٤
۱۲	سایر	۱٤٦	٤	٤۷/٤۸
۱۳	**مجموع (معابر شهری)**	**۳۸۳۰**	**۹۸**	**۱٤٤۷.٤۳۹**
۱٤	**جاده برون‌شهری**	**۸٦**	**۲**	**۱۲٤۷/۵۸**
۱۵	**مجموع**	**۳۹۱٦**	**۱۰۰**	**۲۷۲۵/۰۰۹**

٤. نتایج مدل‌سازی فرآیند تخصیص

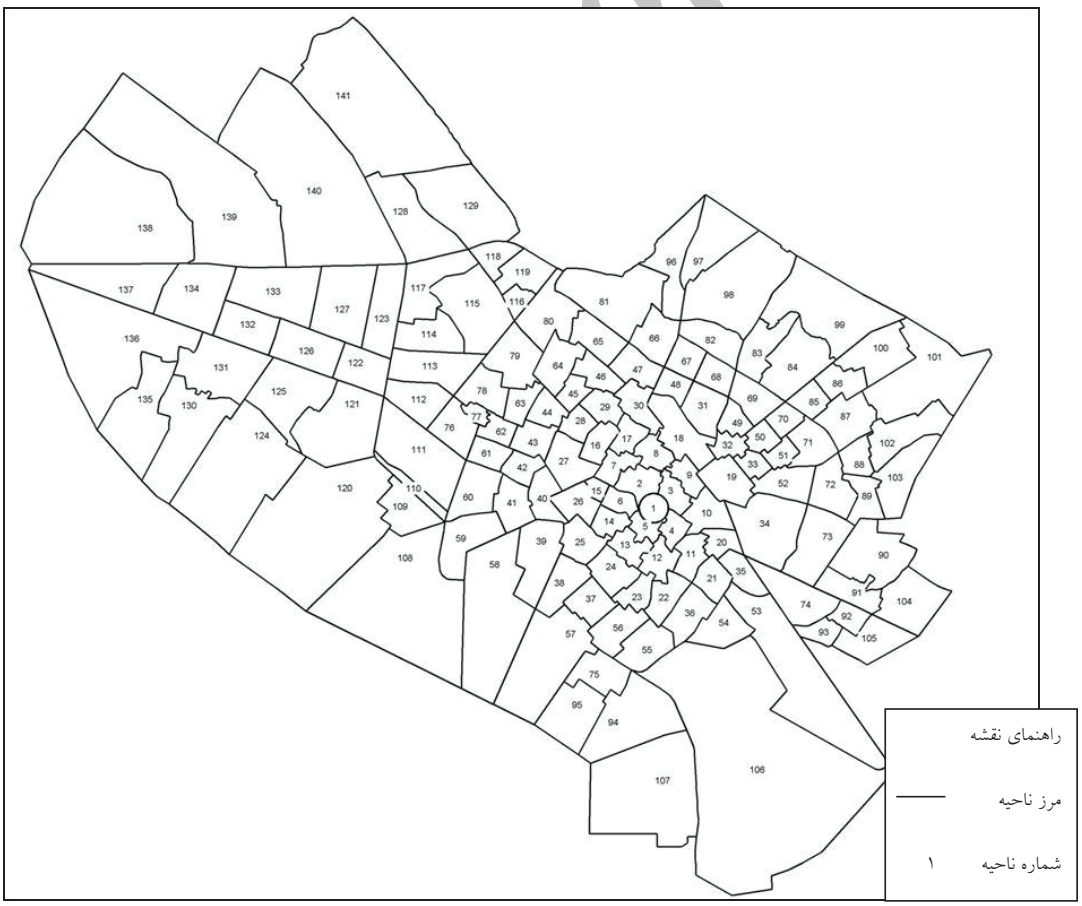
در این مقاله برای بررسی تأثیرگذاری تعداد اتصال و پیدا کردن تعداد بهینه آن برای یک شبکه واقعی، ماتریس تقاضای مبدأ- مقصد به شبکه تخصیص داده و نتایج حاصل از تخصیص با مقادیر مشاهده قیاس می‌شود. جهت انجام فرآیند تخصیص ترافیک به روش تعادلی، از بسته نرم‌افزاری برنامه‌ریزی حمل و نقل به نام VISUM استفاده می‌شود که ابتدا مراحل آماده‌سازی و ورود داده‌های عرضه و تقاضا صورت گرفته، پس از اطمینان از درستی اطلاعات، مطابق متدولوژی میزان حجم در تمامی ۳۸۳۰ کمانهای شبکه برآورد و محاسبه می‌شود. از حجم مشاهده شده (حجم شمارش شده) برای ۸۷ کمان (از ۳۸۳۰) کمان، به صورت برداشت آماری در سال ۱۳۸۷ به عنوان ملاک مشاهده استفاده شده است.

با استفاده از این مقادیر و مقایسه آنها با مقدار برآورد شده، می‌توان تعداد اتصال بهینه را بر اساس نزدیکی نتایج تخصیص تعادلی به مشاهدات حجم در کمان تعیین کرد. در جدول ۲ برخی از شاخصهای آماری برای ارزیابی و مقایسه نتایج سناریوهای مختلف (تعداد اتصال‌های مختلف) مانند میانگین، کمینه، بیشینه و انحراف معیار قدرمطلق خطا محاسبه و ارائه شده است. نتایج نشان می‌دهد برای سناریوی یک اتصال، کمینه، بیشینه و انحراف معیار قدرمطلق خطا نسبت به سایر سناریوها کمترین مقدار را دارند، ولی میانگین قدرمطلق خطای سناریوی پنج اتصال کمی بهتر از سناریوی یک اتصال است. این درحالی است که انحراف معیار سناریوی پنج اتصال بیشترین مقدار را داشته و از نظر سایر شاخصها نیز به خوبی سناریوی یک اتصال نیست.

www.SID.ir
Archive of SID



شکل ۱. شبکه معابر شهر مشهد



شکل ۲. نواحی ترافیکی ۱۴۱ گانه شهر مشهد [Navidi, 2010]

www.SID.ir

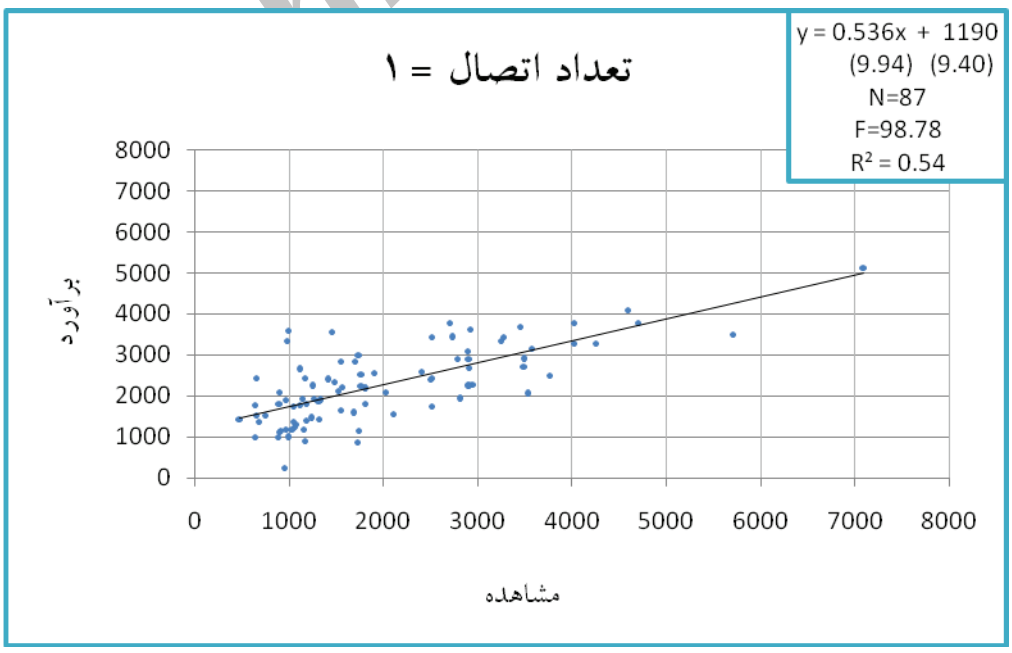
جدول ۲. آماری توصیفی قدرمطلق خطا برای نتایج سناریوهای مختلف تعداد اتصال

ردیف	شاخص آماری	سناریو تعداد اتصال					
		۱	۲	۳	٤	٥	٦
۱	میانگین	٦۹۲	٦۹٦	۷٤۰	۷۲۰	٦۷۳	۷۱۳
۲	کمینه	۰	۰	٥۲	۲۳	۲۱	٤۳
۳	بیشینه	۲٦۰٤	۳٥۳۸	٤٤۲٦	٤۲۹۱	٤۳۰۳	٤۳٦۷
٤	انحراف معیار	٥٥٦	٦۱٥	٦٥۲	٦٦۷	٦۸۲	٦۷۳

تعداد مشاهده = ۸۷

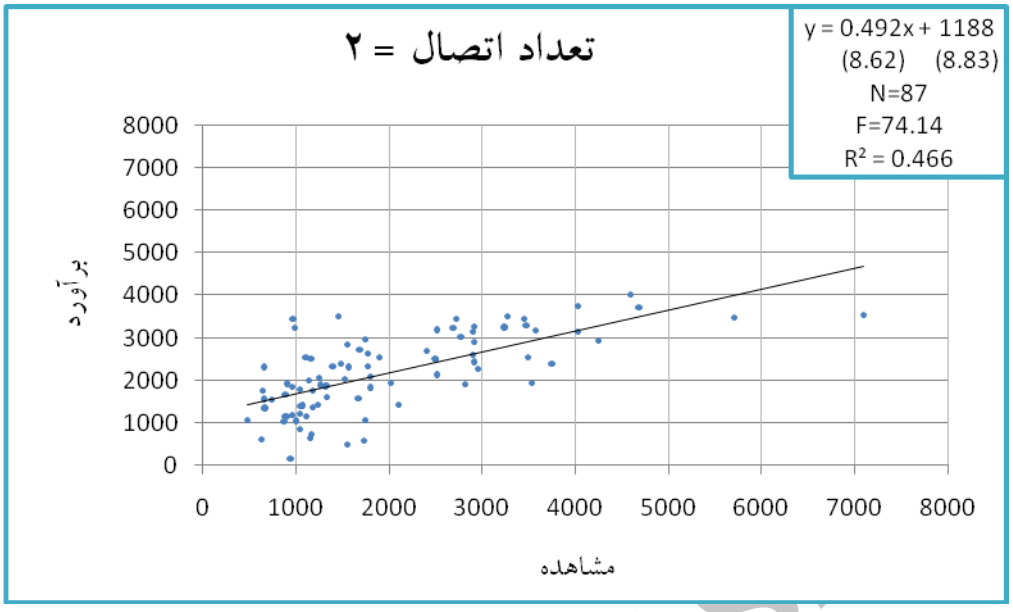
برای ارزیابی و بررسی میزان خوبی بازسازی مشاهدات برای این کمان‌ها از تحلیل رگرسیون خطی استفاده می‌شود. با محاسبه ضرایب رگرسیون و پارامترهای آماری R^2 و t و F برای هر حالت می‌توان معنی‌داری و دقت نتایج به‌دست آمده را تحلیل و بررسی کرد [Navidi, 2010]. در شکل ۳ پراکنش برآورد- مشاهده حجم در کمانها به روش تخصیص تعادلی برای ناحیه‌های ترافیکی با ۱ اتصال ارائه شده است. در این نمودار، محور افقی میزان مشاهده حجم در کمانها و محور قائم مقادیر برآورد حجم در کمانها را نشان می‌دهند که خروجی فرآیند تخصیص تقاضا به شبکه حمل و نقل شهر مشهد توسط نرم‌افزار VISUM و نتیجه مطالعات جاری است. نزدیکی مقدار برآورد به میزان مشاهده (نیمساز ربع اول) نشانگر میزان نزدیکی نتایج مدل به واقعیت است. برای برآوردی از میزان دقت مدل در بازسازی مشاهدات، از تحلیل رگرسیون خطی و پارامترهای مربوطه (ضریب خوبی برازش R^2، شیب خط و عرض از مبدأ و سطح معنی‌داری آنها) به شرح زیر به عنوان نمونه برای شکل ٤ استفاده شده است.

مقدار عرض از مبدأ برای خط برازش شده برابر ۱۱۹۰ (وسیله در ساعت) و از نظر آماری معنی‌دار است که نشانگر برآورد حجم



شکل ۳. پراکنش برآورد- مشاهده حجم در کمانها به روش تخصیص تعادلی با ۱ اتصال

www.SID.ir



شکل ٤. پراکنش برآورد- مشاهده حجم در کمانها به روش تخصیص تعادلی با ۲ اتصال

برای مشاهده صفر سفر است، که با توجه به مقدار بیشینه مشاهده (۷۰۹۱ وسیله در ساعت)، مقدار نسبتا بزرگی (حدود ۲۳ درصد مقدار مشاهده کل) است. مقدار شیب خط (۰/۵۳٦ و از نظر آماری معنی‌دار) مثبت و قابل قبول است. مقدار R^2 (قدرت توضیح‌دهندگی مدل) حدود ۰/٥٤ است. در ادامه نتایج حاصل از تخصیص ترافیک تعادلی برای ناحیه‌های ترافیکی با تعداد اتصال‌های بیشتر ارایه می‌شود.

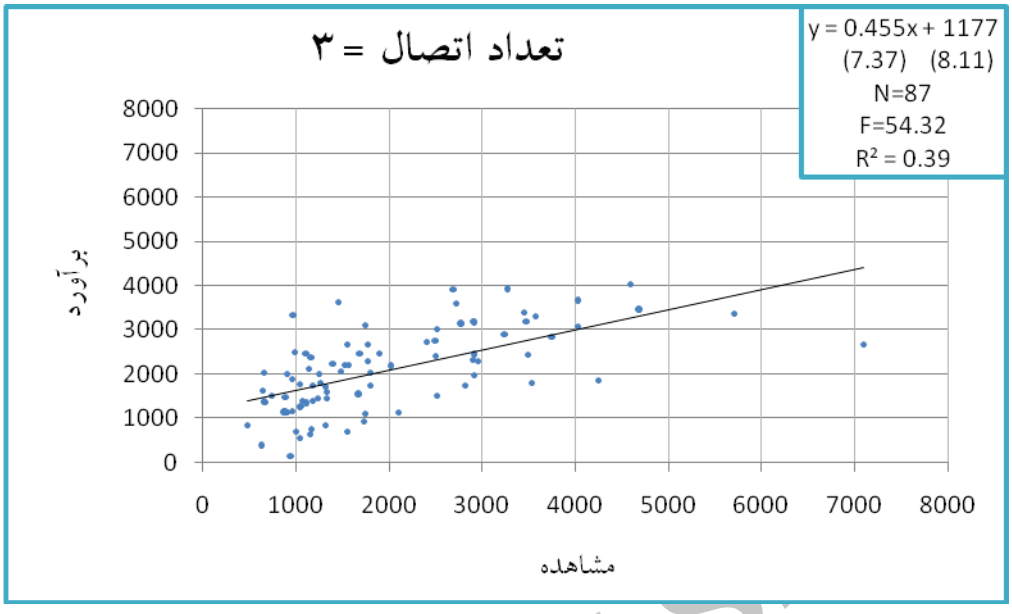
در شکل ٤ (پراکنش برآورد- مشاهده به‌ازای ۲ اتصال) مشاهده می‌شود که عرض از مبدأ خط برازش شده (۱۱۸۸) کاهش چندانی ندارد، ولی شیب کاهشی حدود ۸ درصد (از ۰/٥٤۳ به ۰/٤۹۲) داشته است. مقدار R^2 از ۰/٥٤۰ به ۰/٤٦٦ (حدوداً ١٤ درصد) کاهش یافته و آماره F نیز از ۹۸/۸۷ به ۷٤/١٤ کاهش (در حدود ۲۵ درصد) پیدا کرده است. این نتایج نشان‌دهنده آن است که افزایش تعداد اتصال از یک به دو برای هر ناحیه، نتایج حاصل از تخصیص ترافیک تعادلی نتوانسته است که مشاهدات حجم را بهتر و دقیق‌تر بازسازی کند.

در شکل ٥ نیز که نشانگر نتایج حاصل برای ۳ اتصال برای هر ناحیه‌ی ترافیکی است، مشاهده می‌شود که روند نزولی موجود در نتایج حاصل از یک اتصال به دو اتصال ادامه دارد، به گونه‌ای که، مقدار عرض از مبدأ خط برازش شده از ۱۱۸۸ به ۱۱۷۷ کاهش یافته است (حدو ۰/۱ درصد). گرچه این میزان کاهش مطلوب است ولی مقدار آن به قدری نیست که بتوان گفت که مدل بهبود چشم‌گیری یافته است، چراکه کاهش شیب خط (به میزان ۷/٥ درصد نسبت به نتایج حاصل از دو اتصال و حدود ١٦ درصد نسبت به نتایج حاصل از یک اتصال) از ۰/٤۹۲ به ۰/٤٥٥ و کاهش مقدار آماری F (به میزان ۲٦/۷ درصد نسبت به نتایج حاصل از دو اتصال و حدود ٤٥ درصد نسبت به نتایج حاصل از یک اتصال) از ۷٤/١٤ به ٥٤/۳۲ به وضوح کاهش دقت مدل را نشان می‌دهد. تحلیل مشابه برای ٤ تا ٦ اتصال صورت گرفته و نتایج در نمودارهای مشابه (شکلهای ٦ تا ۸) ارائه شده‌اند، که در تمام این شکلها و روابط رگرسیون مربوطه، روند نزولی در دقت بازسازی مشاهدات به چشم می‌خورد. شایان ذکر است که در تمام این تحلیلها، تعداد مشاهدات ثابت و برابر ۸۷ است.

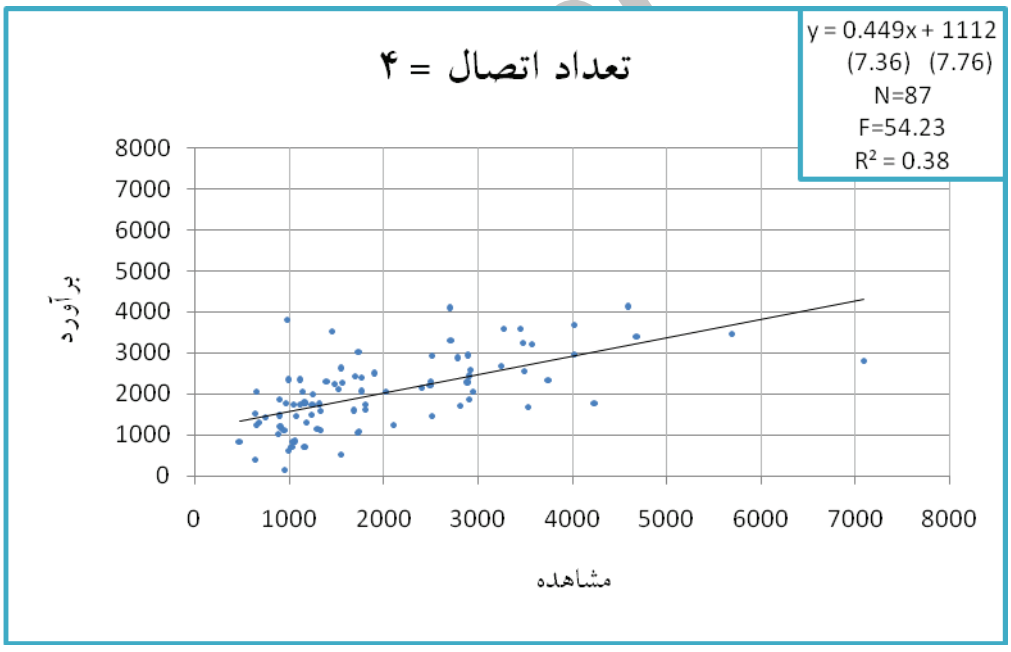
با توجه به این‌که ۲ مشاهده با بزرگ ترین مشاهده حجم در کمان (۷۱۰۰ و ٥٦۰۰) در حالت یک اتصالی با دقت بیشتری نسبت به سایر سناریوها بازسازی شده‌اند و ممکن است که این ۲ مشاهده باعث برتری نتایج این سناریو شده باشد، محاسبات مشابه ولی با حذف این ۲ مشاهده برای تمام سناریوها انجام و نتایج قیاس شدند. مشاهده شد که علی‌رغم بهبود نتایج سایر سناریوها، هنوز سناریو با یک اتصال برترین سناریو از نظر معیار نزدیکی نتایج

Archive of SID

www.SID.ir



شکل ۵. پراکنش برآورد- مشاهده حجم در کمانها به روش تخصیص تعادلی با ۳ اتصال

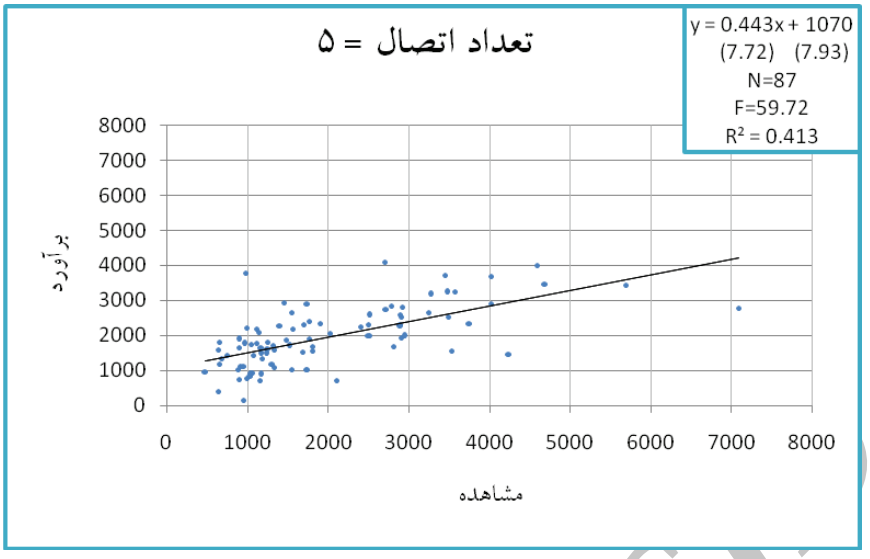


شکل ٦. پراکنش برآورد- مشاهده حجم در کمانها به روش تخصیص تعادلی با ٤ اتصال

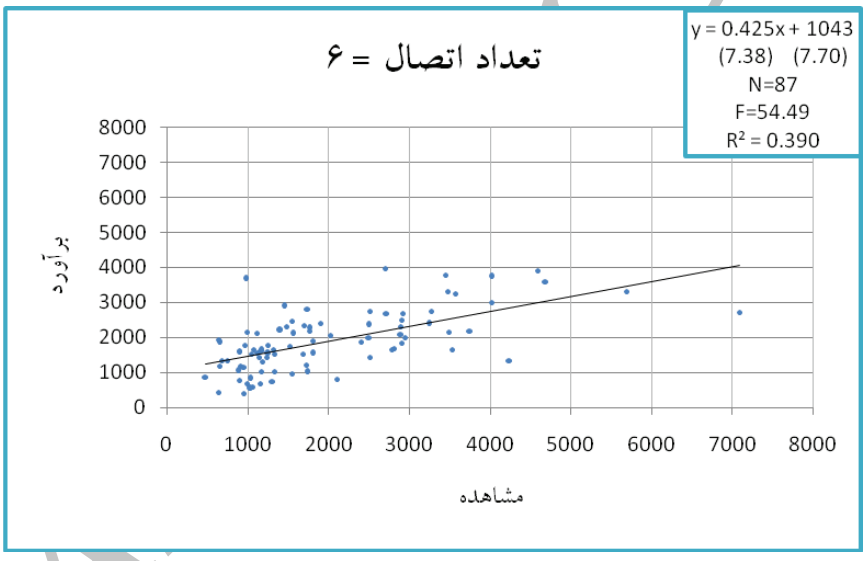
تخصیص به مشاهدات حجم در کمان بود.

جدول ۳ خلاصه نتایج تحلیل رگرسیون خطی برآورد- مشاهده را برای تعداد اتصالات مختلف نشان می‌دهد. مشاهده می‌شود که با افزایش تعداد اتصالات از یک اتصال به شش اتصال، ضریب خوبی برازش از ۰/٥٤ به ۰/۳۸ کاهش پیدا کرده است. همچنین مقدار شیب خط برازش نیز روندی نزولی داشته و از ۰/٥۳٦ به ۰/٤۲٥ کاهش یافته است. مقادیر آماری‌های t و F نیز حاکی از معنی‌دار بودن نتایج است.

www.SID.ir



شکل ۷. پراکنش برآورد- مشاهده حجم در کمانها به روش تخصیص تعادلی با ۵ اتصال



شکل ۸. پراکنش برآورد- مشاهده حجم در کمانها به روش تخصیص تعادلی با ٦ اتصال

جدول ۳. نتایج تحلیل رگرسیون خطی برآورد- مشاهده حجم در کمان به تفکیک سناریو تعداد اتصال

سناریو	تعداد اتصال	شیب خط برازش (a)	t(a)	عرض از مبدأ (b)	t(b)	ضریب خوبی برازش(R^2)	F
۱	۱	۰/۵۳٦	۹/٤۰	۱۱۹۰	۹/۹٤	۰/٥٤۰	۹۸/۷۸
۲	۲	۰/٤۹۲	۸/۸۳	۱۱۸۸	۸/٦۲	۰/٤٦٦	۷٤/۱٤
۳	۳	۰/٤٥٥	۸/۱۱	۱۱۷۷	۷/۳۷	۰/۳۹۰	٥٤/۳۲
٤	٤	۰/٤٤۹	۷/۷٦	۱۱۱۲	۷.۳٦	۰/۳۸۰	٥٤/۲۳
٥	٥	۰/٤٤۳	۷/۹۳	۱۰۷۰	۷/۷۲	۰/٤۱۳	٥۹/۷۲
٦	٦	۰/٤۲٥	۷/۷۰	۱۰٤۳	۷/۳۸	۰/۳۹۰	٥٤/٤۹

تعداد مشاهدات= ۸۷

www.SID.ir

۵. نتیجه‌گیری و پیشنهادات

از مهم ترین بحثها در زمینه برنامه‌ریزی حمل و نقل شهری، مقوله تخصیص ترافیک است که دارای ابعاد و پیچیدگیهای زیادی است. این فرآیند ریاضی پیچیده متاثر از عوامل کمی و کیفی متعددی است، از جمله چگونگی ناحیه‌بندی و تعیین مراکز و اتصالهای هر ناحیه. اهمیت پیش‌بینی حجم جریان در کمانها برای برنامه‌ریزی و سیاست‌گذاری دقیق و قوی، بررسی تأثیر اتصالها به عنوان یکی از اجزای شبکه و یافتن تعداد بهینه آنها را برای نزدیکی نتایج مدلهای تخصیص می‌طلبد. مطالعات اندکی در مورد تاثیر اتصالها صورت پذیرفته است و مطالعات انجام شده نشان داده‌اند که اتصالها دارای نقش اساسی در نتایج تخصیص ترافیک هستند. ویژگی مطالعات صورت پذیرفته حاکی از عدم استفاده از مشاهده‌های واقعی شمارش حجم به‌عنوان معیاری برای قیاس و ارزیابی نتایج تخصیص برای تعداد اتصال مختلف برای هر ناحیه ترافیکی است، که روش پیشنهادی در مقاله جاری و نوآوری آن است. در این مقاله برای تعیین تعداد بهینه اتصال برای شبکه‌ای با ابعاد واقعی و بزرگ، شبکه شهر مشهد انتخاب و ماتریس مبدأ- مقصد به روش تعادلی کاربر به شبکه تخصیص داده شد. نتایج تحلیل آماری توصیفی نشان می‌دهد که برای سناریوی یک اتصال، کمینه، بیشینه و انحراف معیار قدرمطلق خطا نسبت به سایر سناریوها کمترین مقدار را دارد، ولی میانگین قدرمطلق خطای سناریوی پنج اتصال کمی بهتر از سناریوی یک اتصال است. این درحالی است که انحراف معیار سناریوی پنج اتصال بیشترین مقدار را داشته و از نظر سایر شاخصها نیز به خوبی سناریوی یک اتصال نیست. همچنین مشاهده می‌شود که با افزایش تعداد اتصال هر ناحیه ترافیکی، نه تنها روند نزدیکی برآورد به مشاهده بهبود نیافته بلکه توام با افت بوده و بر اساس معیار ریاضی ضریب خوبی برازش حاصل از تحلیل رگرسیون خطی از مقدار ۰/۵۴۰ با یک اتصال به ۰/۳۸۰ در شش اتصال کاهش یافت. با توجه به نتایج می‌توان گفت که برای شبکه معابر شهر مشهد و تقاضای اوج صبح، خروجی تخصیص ترافیک با تعداد یک اتصال دارای بیشترین نزدیکی به مشاهده است و افزودن تعداد اتصال برای این شبکه باعث کاهش دقت مدل خواهد بود.

این مقاله به بررسی تعداد اتصال برای یک محدوده شهری خاص با تراکم ترافیکی دوره اوج صبح پرداخته است. با توجه به این‌که تراکم ترافیکی می‌تواند نقش مهمی در تعداد اتصال داشته باشد، در ادامه پیشنهاد می‌شود این مسأله برای شبکه‌های غیرمتراکم مانند شبکه‌های برون‌شهری مورد بررسی قرار گیرد. همچنین با توجه به این‌که در مقاله جاری، تعداد اتصالها برای نواحی یکسان در نظر گرفته شد، پیشنهاد می‌شود که تأثیر تعداد اتصالهای متفاوت بر روی شبکه‌ها نیز تحلیل گردد. تعیین گره اتصال به روشهای دیگر و بررسی اثر آنها در جواب مسأله و نتایج محاسبات از موضوعهای دیگر برای پژوهشهای مشابه در این زمینه هستند.

٦. سپاسگزاری

از مسئولین و کارشناسان محترم سازمان حمل و نقل و ترافیک شهر مشهد که داده‌ها و اطلاعات لازم ، مانند اطلاعات شبکه معابر شهری و تقاضای مبدأ- مقصد را در اختیار گذاشتند، سپاسگزاری می‌شود.

۷. پانویس‌ها

1- Connector
2- Static traffic assignment
3- Under- estimation
4- Connector node
5- Centroid
6- User equilibrium assignment
7- Definitional constraint
8- Coefficient of determination
9- Statistical

۸. مراجع

- سازمان حمل و نقل و ترافیک شهر مشهد(۱۳۸۸) "پنجمین آمارنامه حمل و نقل شهر مشهد"، سازمان حمل و نقل و ترافیک شهر مشهد، مشهد.

- مهندسین مشاور طرح هفتم (۱۳۷۸) "ساخت، پرداخت و

www.SID.ir
Archive of SID

اعتبارسنجی مدلهای تخصیص ترافیک"، مطالعات بهنگام-سازی طرح جامع حمل و نقل شهر مشهد، گزارش شماره -۳۹-۰۱ ۳۰۰.

- Beckmann, Martin, McGuire, C. B. and Winston, Christopher. B (1956) "Studies in the economics of transportation", Yale University Press, New Haven. CT.

- Friedrich, M. and Galster M. (2009) "Methods for generating connectors in transport planning models", 88th. TRB Conference on the Application of Transportation Planning Methods, Corpus Christi, Washington. D. C. TRIS, TRB, pp. 133-142.

- Kanafani, Adib (1983) "Transportation demand analysis", First Edition, McGraw Hill, New York.

- Navidi, William (2010) "Principles of statistics for engineers and scientists", First Edition, McGraw Hill, New York.

- Ortuzar, Juan de Dios, and Willumsen, Luis, G. (2004) "Modeling transport", Third Edition, John Wiley and Sons.

- Patriksson, Michael (2003) "The traffic assignment problems- models and methods", Linkopring Institute of Technology, Linkopring, Sweden.

- Qian, Z. and Zhang, H. M. (2010) "On centroid connectors in static traffic assignment: Their effects on flow patterns and how to optimize their selection", Institute of Transportation Studies, University of California, Davis.

- Sheffi, Yosef (1985) "Urban transportation network: Equilibrium analysis with mathematical programming methods", Prentice Hall, New Jersey.

Archive of SID

www.SID.ir