نشریه مهندسی عمران امیرکبیر

نشریه مهندسی عمران امیرکبیر، دوره ۴۹، شماره ۱، سال ۱۳۹۶، صفحات ۱۷۵ تا ۱۸۳
DOI: 10.22060/ceej.2016.702

نقش الگوی اتصال مرکز ناحیه‌ها بر نتایج تخصیص ترافیک (مطالعه موردی: شهر قزوین)

مهدی بشیری‌نیا، امیر رضا ممدوحی*

دانشکده مهندسی عمران و محیط زیست، دانشگاه تربیت مدرس، تهران، ایران

چکیده: در ادبیات برنامه‌ریزی حمل‌ونقل به منظور برقراری ارتباط بین جانب عرضه (شامل شبکه معابر) و جانب تقاضا (شامل ناحیه‌های ترافیکی)، نیاز به تعریف مرکز ناحیه و کمان اتصال است. انتخاب مرکز ناحیه و کمان‌های اتصال معمولاً بر اساس تجربه، قضاوت کارشناسی و شناخت محقق از شبکه حمل‌ونقل صورت می‌گیرد که با وجود اهمیت بسیار زیاد، اما کمتر مورد توجه قرار گرفته است. هدف اصلی مقاله حاضر، تحلیل کمی نقش الگوی اتصال‌ها بر نتایج تخصیص ترافیک استاتیک است. با استفاده از روش تخصیص تعادل کاربر، سناریوهای مختلف اتصال (از تنها یک اتصال برای هر ناحیه تا تمام اتصال‌های ممکن)، مورد بررسی و ارزیابی قرار می‌گیرد. به منظور 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. به عنوان نمونه، نتایج اجرای ۶ سناریوی مختلف نشان می‌دهد که تغییر نحوه و تعداد اتصال‌ها می‌تواند تا ۱۰ درصد بر متوسط حجم تردد در معابر و تا ۲۰ درصد بر کل مسافت پیموده شده و زمان صرف‌شده در شبکه تأثیر داشته باشد. همچنین تعدد سناریوهای ممکن و تنوع معیارهای ارزیابی (که سبب دشواری ایجاد الگوی اتصال بهینه می‌شود)، بر نقش این عناصر مجازی در فرآیند تخصیص تأکید دارد.

تاریخچه داوری:
دریافت: ۱۲ اسفند ۱۳۹۲
بازنگری: ۲۸ مهر ۱۳۹۴
پذیرش: ۲۷ اردیبهشت ۱۳۹۵
ارائه آنلاین: ۱۳ شهریور ۱۳۹۵

کلمات کلیدی:
کمان اتصال
مرکز ناحیه ترافیکی
مدل تخصیص ترافیک استاتیک
تعادل کاربر
تحلیل حساسیت

۱- مقدمه و ادبیات موضوع

مطالعات حمل‌ونقل معمولاً دارای دو گام اساسی هستند: گام اول شناسایی مؤلفه‌های مختلف و گام دوم تشخیص رابطه بین مؤلفه‌ها است. هر سامانه حمل‌ونقل از دو مؤلفه اصلی عرضه و تقاضا تشکیل می‌شود. منظور از تقاضا، آگاهی از تعداد و مشخصات سفرها بین هر دو نقطه از محدوده مورد مطالعه بوده و منظور از عرضه نیز شناخت کلیه امکانات و تسهیلات جابجایی و ویژگی‌های عملکردی آنها است. شبکه ارتباطی معابر برای وسایل مختلف و توابع تأخیر کمان‌ها از جمله مصادیق عرضه و ناحیه‌های ترافیکی و مشخصات سفر ساکنین آن‌ها نیز از جمله مصادیق تقاضا محسوب می‌شود. همیشه یک نوع رابطه متقابل بین تقاضا و عرضه وجود دارد که برآیند آن، جریان تعادلی ترافیک در سامانه است؛ به این ترتیب که از یک‌سو کاربران سامانه حمل‌ونقل (مؤلفه تقاضا) سعی دارند تا از امکانات حمل‌ونقلی موجود (مؤلفه عرضه) به نحوی استفاده کنند تا هزینه‌ها کمینه و منافعشان بیشینه شود. از سویی دیگر، با استفاده بیشتر از امکانات سامانه به علت شلوغی و ازدحام، هزینه‌ها اضافه خواهد شد. جریانی از جابجایی که با درنظر گرفتن دو عامل و مؤلفه بالا به وجود آید، یک جریان تعادلی و همچنین روش تعیین و بدست‌آوردن چنین جریانی، تخصیص ترافیک نامیده می‌شود. تخصیص ترافیک دارای مدل‌ها و روش‌های بسیاری است. با استفاده از مدل تخصیص می‌توان به برآوردی از حجم تردد در شبکه معابر دست یافت و عملکرد آن را ارزیابی نمود. در فرآیند تخصیص (به هر روش) نیاز به ایجاد ارتباطی مناسب میان مؤلفه عرضه (شبکه معابر) و مؤلفه تقاضا (نقاط ایجاد سفر شامل ناحیه‌های ترافیکی) وجود دارد. معمولاً نواحی ترافیکی در فرآیند تخصیص، تبدیل به نقاطی در مرکز ثقل ناحیه شده و با کمان‌های مصنوعی (اتصال) به گره‌ها و کمان‌های اصلی شبکه متصل می‌شوند. این کار معمولاً دلیل اصلی بروز خطا در فرآیند تخصیص ترافیک است [۱،۱۴،۱۸].

نقطه مرکز ناحیه باید از ابعاد مختلف جایگزین شود و نماینده خوبی برای آن ناحیه باشد. این نقطه باید بهترین نماینده برای تمامی کاربری‌ها، سفرهای تولید شده و سفرهای جذب‌شده ناحیه باشد. برای ایجاد اتصال‌ها نیاز به شناسایی گرهی به منظور ایجاد ارتباط میان مرکز ناحیه و آن گره است و توصیه می‌شود:

الف) نقاط نزدیک‌تر به مرکز ناحیه اولویت بالاتری دارند.

ب) کمان‌هایی که با یکدیگر زاویه‌های کوچک ایجاد می‌کنند، در اولویت پایین‌تری هستند.

به این ترتیب، مراکز نواحی به گره‌های نزدیک و پراکنده متصل خواهند شد. از نتایج مطالعات گذشته، مشخص می‌شود که تغییر محل مرکز ناحیه به تنهایی و بدون تغییر در نحوه اتصال آن به شبکه معابر اصلی نمی‌تواند

*نویسنده عهده‌دار مکاتبات: armamdoohi@modares.ac.ir

چندان مهم و تأثیرگذار باشد [۱،۲]. این در حالی است که تغییر در نحوه انتخاب اتصال مرکز ناحیه بر نتایج فرآیند تخصیص ترافیک و احجام تردد در معابر تأثیر دارد [۵-۳].

کیان و ژانگ[1] در سال ۲۰۱۲ با مطالعه موردی سه شبکه: الف) شبکه منظم فرضی، ب) قسمتی از شبکه کالیفرنیا و پ) شبکه بزرگ شهر ساکرامنتو، به بررسی این موضوع می‌پردازند [۴]. در این مطالعه برای هر ناحیه ترافیکی، تعدادی گره از شبکه معابر موجود در آن ناحیه به عنوان گره‌های نامزد برای اتصال انتخاب می‌شوند؛ به طوری که بر بزرگراه‌ها، رمپ‌ها و لوپ‌ها منطبق نباشند. از مجموعه نقاط نامزد برای هر ناحیه، تعدادی مشخص به صورت تصادفی انتخاب شده و با زمان سفر صفر و ظرفیت نامحدود به مرکز ناحیه متصل می‌شود. این پژوهشگران از تابع عملکردی اداره معابر عمومی (BPR) روش تخصیص تعادل کاربر و نیز معیار توقف و همگرایی مبتنی بر بیشینه مقدار نسبی تغییرهای حجم تردد معابر استفاده کرده و نتایج حاصل از تخصیص را در قالب چهار شاخص مقایسه می‌کنند که عبارتند از:

الف) جریان در دو کمان منتخب در قسمت میانی و حاشیه‌ای شبکه

ب) بیشینه نسبت حجم به ظرفیت

پ) متوسط نسبت حجم به ظرفیت

ت) مجموع زمان سفر در شبکه

این تحقیق، نشان می‌دهد که نتایج تخصیص ترافیک استاتیک نسبت به انتخاب اتصال‌ها به صورت تصادفی و دلخواه، حساسیت و تغییرهای بسیاری دارد و با تغییر تعداد اتصال‌ها، به سادگی نمی‌توان این نتایج را بهبود بخشید. در اغلب حالت‌ها، نتایج زمان سفر شبکه و متوسط جریان در کمان‌های آن کمتر از مقدار واقعی برآورد می‌شود و در صورت نبود اطلاع در ارتباط با نقاط شروع و پایان سفر و مسیر آن، ایجاد اتصال‌های تصادفی به نتایج ساختگی و مصنوعی می‌انجامد که نتایج آن، با مقدار واقعی متفاوت خواهد بود [۴،۶،۷]. افزایش تعداد اتصال به صورت کورکورانه تا رسیدن به تمام نقاط اتصال امکان‌پذیر، ممکن است به کمتر شدن قابلیت اطمینان نتایج بیانجامد [۴،۸،۹]. پس از بررسی این سه نمونه، می‌توان نتیجه گرفت که متوسط حجم کمان در حالت‌های مختلف ثابت بوده و بسیار نزدیک به مقدار واقعی است و به همین دلیل، در نگاه اول به نظر می‌رسد که یک روش برای رسیدن به احجام قابل اطمینان می‌تواند این باشد که حالت‌های مختلف اتصال اجرا شده و متوسط تمامی آن حالت‌ها مدنظر قرار گیرد. لام به ذکر است که در ارتباط با این رویکرد، دو مشکل به وجود می‌آید: اول این‌که زمان اجرای این روش بیش از آن است که در پروژه‌های تجاری قابل استفاده باشد. دوم این‌که رابطه بین احجام و تقاضا مبدأ و مقصد و همچنین قانون بقای جریان در گره‌های شبکه در حالت متوسط وجود نخواهد داشت [۴،۱۳-۱۶].

در مطالعه‌ای دیگر، با اجرای مدل تخصیص برای حالت‌های مختلف اتصال مراکز نواحی ترافیکی در شهر مشهد، سعی بر آن بود تا علاوه‌بر نمایش تأثیر و اهمیت نحوه اتصال، تعداد اتصال بهینه به منظور نزدیک‌شدن نتایج تخصیص و احجام مشاهده‌شده معرفی شود [۱۷]. به منظور بررسی تأثیر نحوه اتصال در مطالعه مذکور، از مقایسه نتایج مدل تخصیص با احجام مشاهده و شمارش‌شده در ۸۷ معبر منتخب در سال ۱۳۸۷ استفاده شد. بر اساس نتایج این مقایسه در قالب شاخص‌های آماری مربوط به مقدار خطای مشاهده و برآورد حجم در حالت‌های مختلف اتصال، بهترین حالت اتصال در شبکه موردی مشهد ایجاد تنها یک اتصال برای تمامی نواحی معرفی شد [۱۷]. لازم به ذکر است که مقدار ضریب برازندگی مشاهده و برآورد در این مطالعه از ۰/۵۴ برای حالت یک اتصال برای تمامی نواحی تا ۰/۳۹ در حالت شش اتصال تغییر می‌کند؛ در صورتی که این مقدار در مطالعات طرح جامع آن شهر برابر با ۰/۸۵ گزارش می‌شود [۱۸]. با توجه به بیشتر بودن مقدار برازندگی نتایج مدل تخصیص به مقادیر حجم مشاهده‌شده در معابر منتخب در حالت تک‌اتصال، این حالت به عنوان تعداد اتصال بهینه معرفی می‌شود [۱۷].

بر اساس نتایج مطالعات بسیار کم در زمینه نحوه تأثیر الگوی اتصال‌ها بر نتایج تخصیص ترافیک، تأثیر تعداد و نحوه اتصال مراکز نواحی به شبکه معابر اصلی کم نیست. هدف و نوآوری مقاله حاضر، تحلیل کمی این نقش در قالب سناریوهای مختلف الگوی اتصال به منظور نشان‌دادن میزان تأثیر آن بوده که کمتر مورد توجه محققان گذشته بوده است. پرسش‌های اصلی و مشخص این مقاله عبارتند از:

الف) آیا نتایج تخصیص ترافیک استاتیک در مقابل روش‌های مختلف انتخاب اتصال‌ها[2] ثابت و قابل اطمینان است؟

ب) چگونه و به چه میزان تعداد اتصال‌ها بر نتایج تخصیص ترافیک استاتیک تأثیر می‌گذارد؟

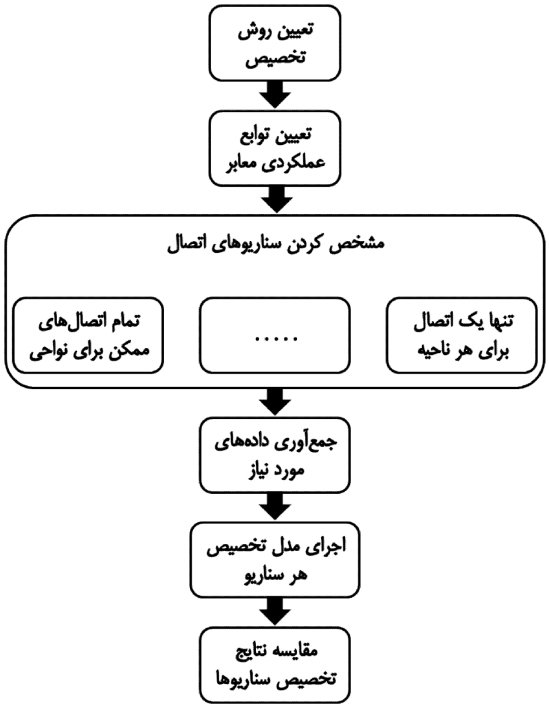
در بخش‌های بعد به بیان روش و رویکرد مطالعه، نحوه ایجاد سناریوهای مختلف و شرایط موجود در هر سناریو پرداخته شده و سپس شرایط و مشخصات نمونه موردی (شبکه معابر شهر قزوین) به منظور آشنایی بیشتر با داده‌های اولیه مطالعه معرفی می‌شود. پس از آن، نتایج مختلف سناریوی اتصال پایه و همچنین هر یک از سناریوهای ایجاد شده ارائه و مقایسه می‌شود. در پایان نیز بر اساس نتایج بدست‌آمده، بحث، نتیجه‌گیری و جمع‌بندی صورت می‌گیرد.

۲- روش و رویکرد مطالعه

روند اصلی پژوهش حاضر شامل تعیین روش و مقایسه نتایج تخصیص سناریوهای مختلف اتصال است (شکل ۱). مدل تخصیص در مقاله حاضر به روش تعادل کاربر[3] و با سه نوع تابع تأخیر[4] که در مطالعات گذشته بررسی شده است، اجرا می‌شود [۱۹]. تابع تأخیر کمان‌ها (رابطه ۱) از نوع BPR[5]

[1] Z. Qian and H. M. Zhang

[2] Connectors
[3] User Equilibrium
[4] Delay Function
[5] Bureau of Public Roads



شکل ۱: روند و مراحل اصلی پژوهش حاضر

Fig. 1. Method of Current Research

با چهار مؤلفه (مربوط به مشخصات سلسله مراتب عملکردی معبر) و تابع تأخیر تقاطع‌های چراغدار (رابطه ۲) از نوع توانی با سه مؤلفه (مربوط به نحوه کنترل و عملکرد چراغ) فرض شده است. تابع تأخیر تقاطع‌های بدون چراغ (رابطه ۳) نیز با توجه به شکل هندسی تقاطع و تعداد حرکت‌های مجاز در آن محاسبه می‌شود. در توابع مذکور، c طول چرخه تقاطع چراغدار، g زمان سبز مربوط به رویکرد مورد نظر، V حجم تردد کمان بر حسب معادل سواری، S ظرفیت اشباع کمان مربوطه، t مؤلفه مربوط به نوع تقاطع بدون چراغ شامل سه یا چهارراه، m تعداد حرکت‌های مجاز در تقاطع و Q میزان ظرفیت اسمی کمان مربوطه است. مؤلفه‌های مربوط به هر تابع به تفکیک انواع سلسله‌مراتب عملکردی معابر از طریق آماربرداری برآورد می‌شود (جدول ۱). شرط توقف الگوریتم فرانک ولف برای دستیابی به تعادل کاربر، در بیشترین مقدار برابر با ۱۰۰ تکرار یا خطای نسبی احجام تردد در دو تکرار متوالی برابر با ۰/۱ درصد قرار داده شده است.

$$D_1 = t_0\left[1+\alpha\left(\frac{V}{Q}\right)^{\beta}\right] \quad (۱)$$

$$D_2 = \frac{(c-g)^2}{2c\left(1-\frac{V}{S}\right)} + 43\left(\frac{V}{S\left(\frac{g}{c}\right)}\right)^4 + 5 \quad (۲)$$

$$D_3 = t\ .m\left[2.5+2\left(\frac{V}{Q}\right)^2\right] \quad (۳)$$

به منظور تحلیل کمی و پیاده‌سازی سناریوهای مختلف تعداد و چگونگی اتصال مراکز نواحی ترافیکی به گره‌های شبکه معابر اصلی، شهر قزوین به عنوان مطالعه موردی بررسی می‌شود. ۶ سناریوی اتصال مختلف ایجاد شده و نتایج تخصیص ترافیک برای هر یک از آن‌ها با سناریوی پایه (سناریوی اتصال طرح جامع) مقایسه خواهد شد. به منظور مقایسه سناریوهای مختلف، از معیارهایی مانند توزیع فراوانی نسبی حجم و سرعت در کمان‌های اصلی شبکه (۹۴۰ کمان با سلسله‌مراتب شریانی درجه دو و بیشتر)، توزیع فراوانی نسبی حجم در کمان‌های اتصال، متوسط حجم و سرعت تردد در کمان‌های اصلی شبکه، کل مسافت پیموده‌شده در شبکه، کل زمان سفر صرف‌شده در شبکه، میزان آلاینده تولیدشده و مقدار سوخت مصرفی استفاده شده است. سناریوهای اتصال به منظور ایجاد طیف مناسب، از تنها یک‌اتصال برای هر ناحیه تا درنظر گرفتن تمامی اتصال‌های ممکن در هر ناحیه ترافیکی لحاظ شده‌اند (جدول ۲).

جدول ۱: مشخصات کمان‌ها به تفکیک سلسله‌مراتب عملکردی [۱۹]

Table 1. Operational Characteristics of Links and Delay Functions Parameters for Different Link Types

سلسله مراتب عملکردی	سرعت سفر آزاد (کیلومتر بر ساعت)	ظرفیت اسمی (معادل سواری بر ساعت بر متر عرض معبر)	مؤلفه α	مؤلفه β
تندراه شهری	۷۰	۴۰۰	۰/۳۳۰	۴/۲۱۳
شریانی درجه یک	۵۰	۳۷۰	۰/۵۲۱	۳/۴۶۸
شریانی درجه دو	۴۰	۲۸۵	۰/۴۲۶	۴/۵۰۶
جمع و پخش‌کننده	۳۵	۲۶۵	۰/۷۰۳	۳/۰۵۹
رمپ و لوپ	۳۰	۲۰۰	۰/۱۵۰	۵/۰۰۰
کمان اتصال	۴۰	–	–	–

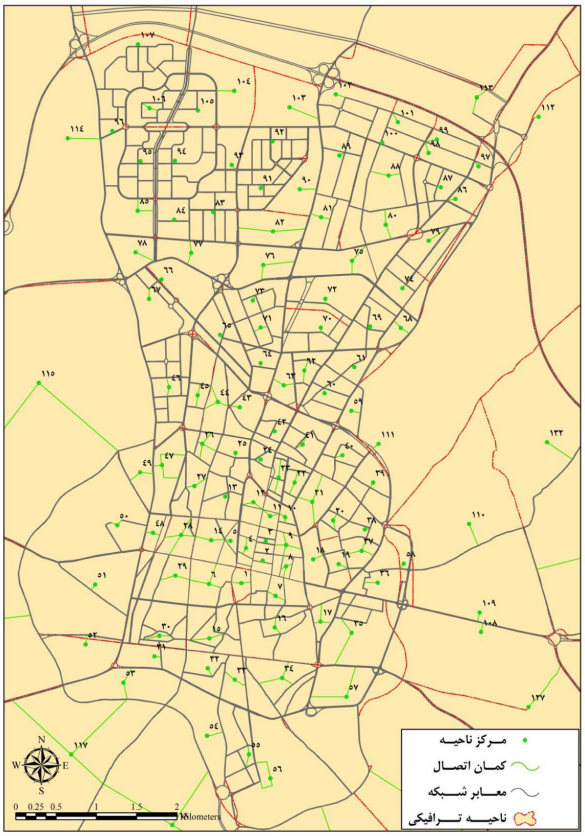
جدول ۲: مشخصات سناریوهای مختلف اتصال در این مطالعه

Table 2. Characteristics of Connector Pattern Scenarios

شماره سناریو	عنوان سناریو	تعداد کمان‌های اتصال	طول کمان‌های اتصال (کیلومتر)	سهم نواحی دارای تنها یک کمان اتصال (درصد)
صفر	شرایط پایه	۱۸۱	۲۷	۵۳
۱	حذف یک اتصال از شرایط پایه	۱۲۸	۱۹	۸۹
۲	افزایش یک اتصال به شرایط پایه	۲۸۸	۶۵	صفر
۳	تنها یک اتصال به نزدیک‌ترین گره	۱۱۳	۱۴	۱۰۰
۴	تنها یک اتصال به دورترین گره	۱۱۳	۱۷	۱۰۰
۵	دو اتصال به دورترین و نزدیک‌ترین گره	۱۶۷	۲۵	صفر
۶	اتصال به همه گره‌های امکان‌پذیر	۵۱۳	۱۵۵	صفر

۳- معرفی نمونه موردی: شهر قزوین

شهر قزوین یکی از شهرهای تاریخی ایران است که از شرق در حدود ۱۰۰ کیلومتر با کرج و از غرب در حدود ۳۰۰ کیلومتر با رشت فاصله دارد. این شهر با ۴۱۳ هزار نفر جمعیت و ۴۵۷۰ هکتار وسعت به ۱۱۳ ناحیه

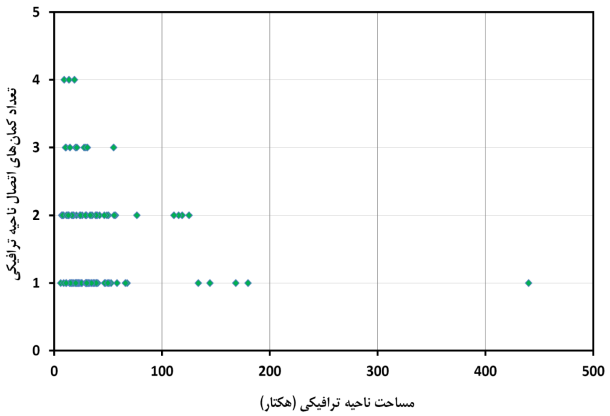


شکل ۲: مراکز نواحی ترافیکی و شبکه معابر شهر قزوین [۱۹]

Fig. 2. Qazvin Network: Links, Centroids and Connectors

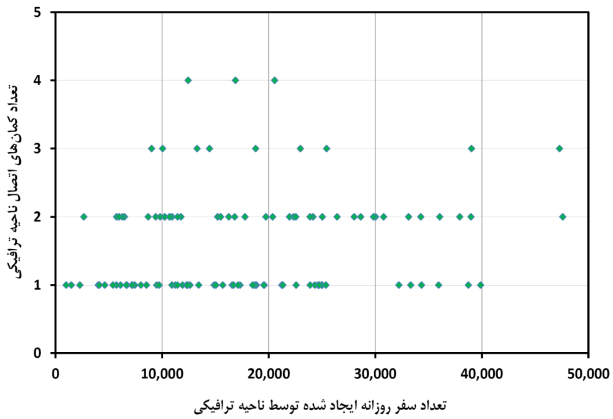
ترافیکی داخلی، ۵۷ ناحیه میانی و ۸ محور مواصلاتی مهم تقسیم‌بندی شده [۱۹] و شبکه معابر مصوب آن (شامل کمان‌های جمع‌وپخش‌کننده تا تندراه‌های شهری) دارای ۲۳۰۰ کمان و ۱۲۰۰ گره است (شکل ۲). این شبکه دارای ۲۹۰ کیلومتر طول و ۳۵۰ هکتار مساحت بوده که ۱۰ درصد از طول آن مربوط به کمان‌های اتصال و ۴۵ درصد از مساحت آن مربوط به معابر جمع‌وپخش‌کننده می‌شود. در مطالعات جامع شهر قزوین سعی شده تا کمان‌های اتصال در مدل شبکه معابر در حد امکان بر کوچه‌ها و معابر دسترسی واقعی شهر منطبق باشد [۱۹]. بر این اساس، شبکه حاصل دارای ۱۸۱ کمان اتصال با طول ۲۷ کیلومتر است (شکل ۲). از آن‌جایی که این شهر به ۱۱۳ ناحیه ترافیکی تقسیم شده است، بنابراین متوسط تعداد و طول اتصال‌ها برای هر ناحیه به ترتیب برابر با ۱/۶ اتصال و ۲۴۰ متر است. بیش از ۵۰ درصد از نواحی، تنها یک اتصال داشته و فقط ۳ درصد از نواحی دارای ۴ کمان اتصال هستند. از طرفی دیگر، ۳۵ درصد مراکز نواحی با طولی کمتر از ۱۰۰ متر و ۴ درصد با طولی بیش از ۸۰۰ متر متصل شده‌اند.

در مطالعات حمل‌ونقلی، اهمیت چندانی به انتخاب نحوه اتصال مراکز نواحی ترافیکی به معابر اصلی داده نشده و معمولاً بر اساس قضاوت کارشناسی و به صورت توافقی بدون رعایت اصول و الگوریتم منسجم، تعدادی کمان اتصال درنظر گرفته می‌شود. برای بررسی این مطلب، ضریب همبستگی بین ویژگی‌ها و مشخصات نواحی با تعداد اتصال مربوط به هر ناحیه محاسبه شد. نتایج این تحلیل برای مساحت (شکل ۳)، جمعیت ساکن (شکل ۴)، تعداد سفرهای روزانه هر ناحیه (شکل ۵)، مجموع طول کمان‌ها (شکل ۶) و تعداد گره‌ها (شکل ۷) حاکی از وجود همبستگی خاصی نبوده و مشاهده می‌شود که نواحی ترافیکی مختلف با ویژگی‌های یکسان دارای تعداد اتصال‌های متفاوت هستند (جدول ۳). به همین ترتیب، نواحی ترافیکی با تعداد اتصال برابر از نظر مشخصات اجتماعی، جغرافیایی و شبکه معابر بسیار متفاوت هستند.



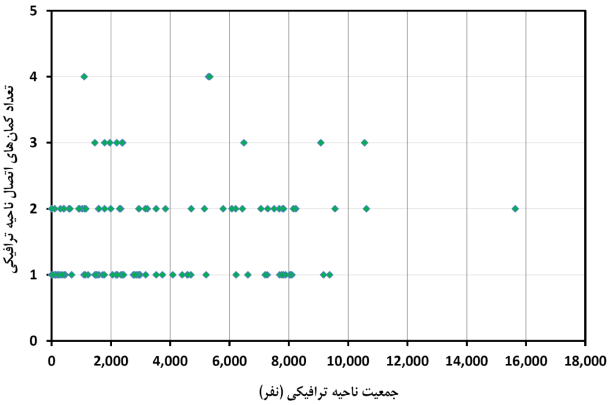
شکل ۳: پراکنش تعداد کمان‌های اتصال با مساحت ناحیه

Fig. 3. Dispersion of the Number of Connectors vs. TAZ Area



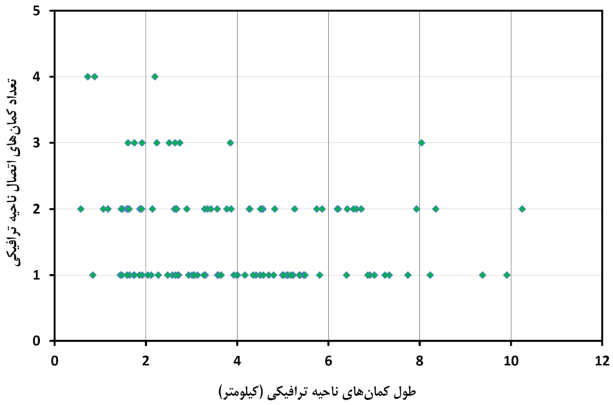
شکل ۵: پراکنش تعداد کمان‌های اتصال با تعداد سفرهای ناحیه

Fig. 5. Dispersion of the Number of Connectors vs. TAZ Number of Generated Daily Trips



شکل ٤: پراکنش تعداد کمان‌های اتصال با جمعیت ساکن ناحیه

Fig. 4. Dispersion of the Number of Connectors vs. TAZ Population



شکل ٦: پراکنش تعداد کمان‌های اتصال با طول کمان‌های ناحیه

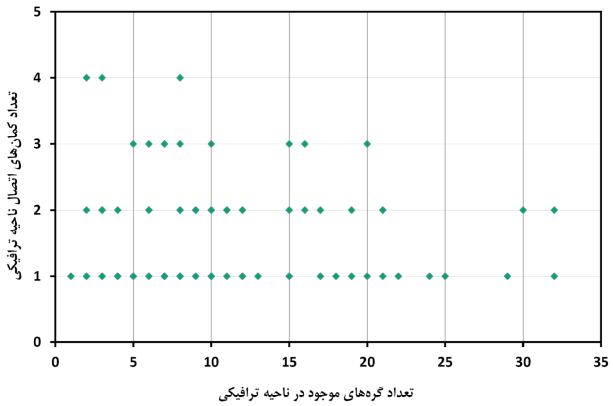
Fig. 6. Dispersion of the Number of Connectors vs. TAZ Streets Length

ماتریس تقاضای شهر قزوین با ابعاد ۱۱۳ در ۱۱۳ شامل ۶۹ هزار سفر داخلی برحسب همسنگ‌سواری بر ساعت است [۱۹]. متوسط درایه‌های این ماتریس ۵/۴، کمینه آن صفر و بیشینه آن نیز برابر با ۲۲۴ سفر است. نرخ ایجاد سفر روزانه ساکنین شهر قزوین برابر با ۱/۶ سفر بر روز بر نفر (با

جدول ۳: ضرایب همبستگی مشخصات نواحی ترافیکی شهر قزوین با تعداد کمان‌های اتصال در سطح معناداری ۵ درصد

Table 3. Correlation Coefficient of TAZ Properties with Number of Connectors

	مساحت	جمعیت	طول کمان‌ها	تعداد گره‌ها	تعداد سفر روزانه	تعداد اتصال
مساحت	۱/۰۰	–	–	–	–	–
جمعیت	۰/۰۱	۱/۰۰	–	–	–	–
طول کمان‌ها	۰/۳۰	۰/۴۷	۱/۰۰	–	–	–
تعداد گره‌ها	۰/۱۰	۰/۳۰	۰/۷۵	۱/۰۰	–	–
تعداد سفر روزانه	۰/۲۴	۰/۷۷	۰/۴۸	۰/۳۴	۱/۰۰	–
تعداد اتصال	−۰/۱۵	۰/۱۳	−۰/۲۲	−۰/۰۹	۰/۱۶	۱/۰۰



شکل ۷: پراکنش تعداد کمان‌های اتصال با تعداد گره‌های ناحیه

Fig. 7. Dispersion of the Number of Connectors vs. TAZ Number of Nodes

احتساب سفرهای بازگشت به منزل) و ضریب ماتریس سفرهای ساعت اوج صبح نسبت به کل روز برابر با ۰/۱۵ بوده و بیش از ۸۰ درصد از درایه‌های ماتریس مذکور، حجم تقاضای کمتر از ۱۰ داشته و کمتر از ۵ درصد درایه‌ها دارای تقاضای بیش از ۴۰ همسنگ‌سواری بر ساعت هستند [۱۹].

نتایج مدل تخصیص به روش تعادل کاربر در سناریوی اتصال پایه حاکی از برآورد کل مسافت پیموده‌شده برابر با ۴۱۷۷۶۷ وسیله کیلومتر، کل زمان صرف‌شده برابر با ۱۷۳۳۹ وسیله ساعت، کل سوخت مصرف‌شده برابر با ۶۲۲۹۱ لیتر و مجموع آلاینده‌های تولیدشده نیز برابر با ۳۰۹۱۹ کیلوگرم است. با توجه به توزیع فراوانی نسبی حجم تردد در کمان‌های شبکه معابر، متوسط حجم در کل معابر برابر با ۹۸۸ و انحراف معیار آن‌ها نیز ۱۱۲۸ همسنگ‌سواری بر ساعت است. ۲۷ درصد معابر در حدود ۱۰۰ و ۱۵ درصد آن‌ها نیز بیش از ۲۰۰۰ معادل سواری بر ساعت حجم داشته‌اند. از طرفی دیگر، متوسط سرعت معابر برابر با ۲۳/۵ و انحراف معیار آن نیز برابر با ۹ کیلومتر بر ساعت در کل شبکه است. ۱۰ درصد معابر سرعتی کمتر از ۱۰ داشته و ۵ درصد از آن‌ها نیز بیش از ۴۰ کیلومتر بر ساعت سرعت دارند. دقت و تحلیل حساسیت نتایج مدل تخصیص برای کمان‌های مهم شبکه (سلسله‌مراتب بالاتر از جمع‌وپخش‌کننده) در مقایسه با معابر جمع‌وپخش‌کننده و دسترسی بیشتر مدنظر است. تعداد این کمان‌های مهم در شبکه معابر شهر قزوین برابر با ۹۴۰ کمان است و با توجه به توزیع فراوانی نسبی حجم تردد در آن‌ها، متوسط حجم در این معابر برابر با ۱۸۰۹ و انحراف معیار آن‌ها نیز ۱۲۶۴ همسنگ‌سواری بر ساعت است. ۵ درصد این معابر در حدود ۱۰۰ و در حدود ۴۰ درصد از آن‌ها نیز بیش از ۲۰۰۰ معادل سواری بر ساعت حجم داشته‌اند. از طرفی دیگر، متوسط سرعت معابر اصلی برابر با ۲۵ و انحراف معیار آن نیز برابر با ۱۱ کیلومتر بر ساعت است. ۱۵ درصد معابر اصلی، سرعتی کمتر از ۱۰ داشته و ۱۰ درصد از آن‌ها نیز بیش از ۴۰ کیلومتر بر ساعت سرعت دارند. در ضمن، متوسط حجم تردد در کمان‌های اتصال برابر با ۴۵۶ بوده و انحراف معیار آن نیز برابر با ۴۴۹ همسنگ‌سواری بر ساعت است. می‌توان مشاهده کرد که بیش از ۳۰ درصد از این کمان‌ها در حدود ۱۰۰ و در حدود ۱۰ درصد از آن‌ها نیز بیش از ۱۰۰۰ همسنگ‌سواری بر ساعت حجم داشته‌اند.

٤- نتایج سناریوهای مختلف اتصال

نتایج سناریوی اول (حذف یک اتصال) نشان می‌دهد که با کاهش تعداد اتصال‌ها، تعداد مسیرهای رقیب برای سفر از هر مبدأ به هر مقصد کاهش یافته و عملکرد معابر اصلی شبکه نیز تحت تأثیر قرار گرفته است.

جدول ٤: خلاصه نتایج مدل تخصیص ترافیک در سناریوی اتصال پایه

Table 4. The Assignment Results in Base Scenario of Connector Pattern

شماره شاخص	عنوان شاخص	واحد	مقدار برآورد شده
۱	کل مسافت پیمودهشده در شبکه	وسیله–کیلومتر	۴۱۷۸۰۰
۲	کل زمان صرف‌شده در شبکه	وسیله–ساعت	۱۷۳۰۰
۳	کل سوخت مصرف‌شده در شبکه	لیتر	۶۲۳۰۰
۴	مجموع آلاینده‌های تولید شده در شبکه	کیلوگرم	۳۰۹۰۰
۵	متوسط حجم تردد معابر شبکه	معادل سواری بر ساعت	۱۸۱۰
۶	انحراف معیار حجم تردد معابر شبکه	معادل سواری بر ساعت	۱۲۶۰
۷	متوسط سرعت تردد در معابر شبکه	کیلومتر بر ساعت	۲۵
۸	انحراف معیار سرعت تردد در معابر شبکه	کیلومتر بر ساعت	۱۱
۹	متوسط حجم تردد کمان‌های اتصال	معادل سواری بر ساعت	۴۶۰
۱۰	انحراف معیار حجم تردد کمان‌های اتصال	معادل سواری بر ساعت	۴۵۰

به همین دلیل، متوسط حجم در کمان‌های اتصال افزایش یافته و برابر با ۶۴۶ سواری بر ساعت خواهد بود. در سناریوی دوم نیز با افزایش یک اتصال، تعداد مسیرها افزایش یافته و متوسط حجم در کمان‌های اتصال نیز کاهش می‌یابد. لازم به ذکر است که تغییرهای ایجادشده در این حالت نسبت به حالت قبل بیشتر است.

در سناریوی سوم (تنها یک اتصال به نزدیک‌ترین گره)، تمامی نواحی ترافیکی دارای تنها یک اتصال خواهند بود که این اتصال به نزدیک‌ترین گره نسبت به مرکز ناحیه متصل شده است. به صورت مشابه، در سناریوی چهارم نیز همه نواحی ترافیکی دارای تنها یک اتصال هستند که به دورترین گره نسبت به مرکز ناحیه متصل است. نتایج این دو سناریو به علت برابر بودن تعداد اتصال‌ها، بسیار مشابه با یکدیگر است. اما در سناریوی پنجم که تمامی نواحی ترافیکی دارای دو اتصال هستند، متوسط حجم در کمان‌های شبکه به علت بیشتر بودن تعداد اتصال‌ها کاهش می‌یابد.

در سناریوی ششم (اتصال به تمامی گره‌های ممکن)، مرکز ناحیه در همه نواحی ترافیکی به تمامی گره‌های اطراف خود متصل شده است. به همین علت، تعداد اتصال‌ها نسبت به حالت‌های گذشته بسیار بیشتر خواهد بود. بیشتر بودن تعداد اتصال‌ها سبب می‌شود تا تقاضای موجود بین هر مبدأ و مقصد، گزینه‌های زیادی را به منظور انتخاب مسیر داشته و کوتاه‌ترین و مناسب‌ترین مسیر را به صورت غیرواقعی برگزینند. نتایج نشان می‌دهد که در این حالت، متوسط حجم در کمان‌های اتصال به صورت قابل توجهی کاهش یافته و برابر با ۱۶۲ سواری بر ساعت خواهد بود.

شاخص‌های آماری (شامل متوسط حجم کمان‌های اتصال، متوسط حجم کمان‌های اصلی شبکه معابر و متوسط سرعت تردد در این معابر)، نشان می‌دهد که معمولاً متوسط حجم کمان‌ها با افزایش تعداد اتصال‌ها نسبت به شرایط پایه به علت توزیع‌شدن احجام بین مسیرهای رقیب بیشتر کاهش می‌یابد. از طرفی دیگر، تعداد مسیرهای انتخابی با کاهش تعداد اتصال‌ها نیز کمتر شده و می‌توان مشاهده نمود که متوسط احجام شبکه بالاتر است. از گزینه‌های بررسی‌شده، حالت دو اتصال به نزدیک و دورترین گره با تغییر تنها ۰/۲ درصد در متوسط احجام معابر اصلی دارای کمترین تأثیر است. در مقابل، حالت تمامی اتصال‌های ممکن با تغییر ۸/۷ درصدی، بیشترین اثر را در نتایج مدل نشان می‌دهد (جدول ۵). علاوه‌بر شاخص آماری متوسط در شبکه، مقادیر مشخصات عملکردی مجموع و کل شبکه نیز در شرایط مختلف اتصال، قابل بررسی است. در مطالعات حمل‌ونقل به منظور ارزیابی نحوه عملکرد کل شبکه و یا مقایسه گزینه‌های متفاوت، از شاخص‌های کلی شبکه مانند کل مسافت پیموده‌شده، زمان صرف‌شده و سوخت و آلاینده تولیدشده استفاده می‌شود. مشاهده می‌شود که بیشترین تغییرها در حالت اتصال به تمامی گره‌های ممکن (حدود ۲۰ درصد) رخ داده و در مقابل، ایجاد دو اتصال به نزدیک‌ترین و دورترین گره، تغییر بسیار کمی را ایجاد نموده است (جدول ۵). در این‌جا نیز با افزایش تعداد اتصال‌ها و به دلیل توزیع بهتر تقاضا بین مسیرهای بیشتر، میزان مسافت و زمان در کل شبکه و به تبع آن سوخت مصرفی و آلاینده تولیدشده کاهش یافته است.

به منظور مقایسه نتایج سناریوهای مختلف اتصال، گزینه بهبود شبکه معابر شهر قزوین (پیشنهادی مطالعات طرح جامع [۱۹])، مدنظر قرار گرفته است. این گزینه دارای بیش از ۲۵ تقاطع غیرهمسطح و در حدود ۱۵ کیلومتر مسیر تندراهی جدید است (شکل ۸). پس از اجرای مدل تخصیص در شرایط مذکور و بدون تغییر نحوه اتصال‌ها نسبت به شرایط پایه، مشاهده می‌شود که مسافت طی‌شده در کل شبکه پیشنهادی نسبت به حالت پایه، ۸ درصد افزایش دارد. مقدار زمان صرف‌شده در شبکه به علت ایجاد تندراه‌های شهری، ۱۷ درصد کاهش را نشان می‌دهد (جدول ۵). این در حالی است که برخی از سناریوهای اتصال بررسی‌شده، مشخصات شبکه را چند برابر این مقادیر تغییر داده‌اند.

جدول ۵: تغییرهای نسبی نتایج تخصیص سناریوهای مختلف اتصال نسبت به حالت پایه

Table 5. Relative Changes in Assignment Results of Connector Scenarios to the Base Pattern

شماره سناریو	عنوان سناریو	تغییرات نسبی (درصد)					
		متوسط حجم	متوسط سرعت	مسافت طی شده	زمان صرف‌شده	مصرف سوخت	تولید آلاینده
۱	حذف یک اتصال	۲/۹	−۰/۸	۳/۳	۵/۶	۴/۷	۵/۳
۲	افزایش یک اتصال	−۲/۸	۰/۸	−۶/۷	−۱۳/۴	−۱۰/۵	−۱۲/۲
۳	اتصال به نزدیک‌ترین گره	۲/۸	−۰/۶	۴/۳	۷/۶	۶/۶	۷/۶
۴	اتصال به دورترین گره	۳/۸	−۰/۸	۴/۵	۶/۲	۶/۲	۷/۱
۵	اتصال به نزدیک‌ترین و دورترین گره	−۰/۲	۰/۰	۰/۴	۰/۴	۰/۷	۰/۸
۶	اتصال به همه گره‌های ممکن	−۸/۷	۲/۴	−۱۷/۶	−۲۵/۴	−۲۲/۹	−۲۶/۳
۷	بهبود شبکه معابر	۳/۲	۶/۹	۷/۹	−۱۷/۰	−۳/۷	−۹/۰

شکل ۸: تغییرهای شبکه پیشنهادی شهر قزوین در مطالعات طرح جامع نسبت به حالت پایه [۱۹]

Fig. 8. Network Improvement Alternative in Qazvin Transportation and Traffic Master Plan

۵- بحث و نتیجه‌گیری

در اغلب مطالعات حمل‌ونقلی برای اجرای مدل تخصیص، اتصال‌های نواحی ترافیکی بر اساس قضاوت کارشناسی دارای ظرفیت نامحدود بوده و زمان سفر نیز ثابت درنظر گرفته می‌شود که این موضوع، یکی از دلایل بروز خطا در این مدل است. مطالعات اندکی که در زمینه اثر تعداد اتصال‌ها بر نتایج مدل تخصیص انجام شده که عموماً به ایجاد سناریوهای مختلف الگوی اتصال و مقایسه نتایج تخصیص (شامل حجم تردد) در چند کمان منتخب با یک سناریوی پایه و نزدیکی احجام برآوردی به احجام مشاهده پرداخته‌اند. مطالعات نشان می‌دهد که مسئله انتخاب الگوی اتصال‌ها موضوع مهمی بوده و قادر است تا نتایج تخصیص و قابلیت اطمینان آن را به شدت تحت تأثیر قرار دهد.

هدف و نوآوری اصلی این پژوهش، تحلیل کمی نقش الگوی اتصال‌ها بر نتایج تخصیص ترافیک استاتیک است. با استفاده از روش تخصیص تعادل کاربر و توابع عملکردی معابر از نوع اداره معابر عمومی، سناریوهای مختلف اتصال، از تنها یک اتصال برای هر ناحیه تا تمام اتصال‌های ممکن برای هر ناحیه ترافیکی (در قالب ۶ سناریو مطابق با جدول ۲)، مورد بررسی و ارزیابی قرار گرفت. به منظور پیاده‌سازی این مفاهیم به شکل کمی، از مدل شبکه معابر شهر قزوین با ۱۱۳ ناحیه ترافیکی و در حدود ۴۰۰ هزار نفر جمعیت به عنوان مطالعه موردی استفاده شد. به منظور مقایسه، از معیارهایی مانند توزیع فراوانی نسبی حجم و سرعت در کمان‌های اصلی شبکه (۹۴۰ کمان با سلسله‌مراتب شریانی درجه دو و بیشتر)، توزیع فراوانی نسبی حجم در کمان‌های اتصال، متوسط حجم و سرعت تردد در کمان‌های اصلی شبکه، کل مسافت پیموده‌شده در شبکه، کل زمان سفر صرف‌شده در شبکه، میزان آلاینده تولیدشده و مقدار سوخت مصرفی استفاده شده است. نتایج اجرای تخصیص ترافیک برای ۶ سناریوی مختلف و مقایسه آن‌ها با سناریوی پایه (سناریوی اتصال طرح جامع) نشان می‌دهد که:

الف) با افزایش تعداد اتصال‌ها به علت توزیع‌شدن احجام بین تعداد مسیرهای بیشتر، متوسط حجم کمان‌ها در شبکه کاهش می‌یابد. از طرفی دیگر، تعداد مسیرهای انتخابی با کاهش تعداد اتصال‌ها نیز کمتر شده و می‌توان مشاهده نمود که متوسط احجام شبکه بالاتر است.

ب) از ۶ سناریوی اتصال، سناریوی دو (اتصال به نزدیک‌ترین و دورترین گره) با تغییر تنها ۰/۲ درصد در متوسط احجام معابر اصلی (۹۴۰ کمان با سلسله‌مراتب شریانی درجه دو و بیشتر) دارای کمترین تأثیر است. در مقابل، سناریوی تمامی اتصال‌های ممکن با تغییر ۸/۷ درصدی در متوسط احجام معابر اصلی، بیشترین اثر را در نتایج مدل نشان می‌دهد.

پ) با افزایش تعداد اتصال‌ها و به دلیل توزیع تقاضا بین تعداد مسیرهای بیشتر، میزان کل مسافت پیموده‌شده و کل زمان صرف‌شده در شبکه و به تبع آن، سوخت مصرفی و آلاینده تولیدشده کاهش می‌یابد.

ت) تغییر نحوه و تعداد اتصال‌ها می‌تواند تا ۱۰ درصد بر متوسط احجام تردد در شبکه و تا ۲۰ درصد بر کل مسافت پیموده‌شده در شبکه تأثیر داشته باشد. حال آن‌که سناریوهایی با تغییرهای زیاد در مطالعات معمول ترافیکی در حدود ۱۰ درصد، کل مسافت پیموده‌شده در شبکه را بهبود می‌بخشند.

ث) اضافه‌کردن تعداد اتصال‌ها لزوماً به نتایج مطلوب نرسیده و نتایج مدل را به واقعیت نزدیک‌تر نمی‌کند. زیرا کل زمان سفر شبکه را به علت وجود گزینه‌ها و مسیرهای بیشتر کاهش خواهد داد. با اضافه‌کردن تعداد اتصال‌ها، کمان‌های متراکمی که در صورت عدم وجود اتصال جدید حجم بیشتری خواهند داشت، مورد استفاده قرار نگرفته و حجم کمتری را دارند.

ج) تعداد بسیار کم اتصال‌ها نیز سبب ایجاد تراکم مصنوعی در برخی کمان‌های منتهی به اتصال خواهد شد. در حالی که تعداد بیش از حد زیاد اتصال‌ها نیز موجب کاهش مصنوعی تراکم در کمان‌های محلی خواهد بود.

با توجه به تعدد سناریوهای امکان‌پذیر برای الگوی اتصال‌ها در یک شبکه، تعدد مؤلفه‌ها، معیارها و شاخص‌های مقایسه (که گاهی متناقض با یکدیگر هستند) و همچنین تعدد تأثیرهای تغییر الگوی اتصال (بر نتایج هر یک از مراحل چهارگانه مطالعات سنتی حمل‌ونقل)، می‌توان دریافت

که ایجاد یک الگوی اتصال بهینه بسیار دشوار و حتی غیرممکن خواهد بود. بنابراین، ممکن است تا در ادامه پژوهش‌ها بتوان به مطالعه روش‌های جایگزین پرداخته و مشکل را به عنوان مثال از طریق روش‌های ابتکاری، با حذف مرکز ناحیه و کمان‌های مصنوعی اتصال حل نمود.

در مطالعه حاضر، تعداد محدودی سناریوی اتصال (۶ سناریو مطابق با جدول ۲) از طریق معیارهای مشخص با یکدیگر مقایسه شدند. از آن‌جایی که تعداد سناریوها و معیارهای سنجش می‌تواند بیشتر باشد، بنابراین بررسی سناریوهای اتصال دیگر (از نظر تعداد و همچنین نحوه اتصال‌ها)، درنظر گرفتن معیارهای متفاوت (مانند نزدیک‌شدن احجام تردد برآوردشده به مقادیر مشاهده و شمارش‌شده) و بررسی شبکه معابر شهرهای بزرگتر به عنوان نمونه موردی، می‌توانند به عنوان موضوع پیشنهادی در مطالعات آینده مطرح شوند.

مراجع

[1] M., Friedrich; M., Galster; Methods for Generating Connectors in Transport Planning Models, *Transportation Research Record*, Vol. 2132, pp. 133-142, 2009.

[2] G., Ayfadopoulou; I., Stamos; Dynamic Traffic Assignment Based Evacuation Planning for CBD Areas, *Procedia-Social and Behavioral Sciences*, Vol. 48, pp. 1078-1087, 2012.

[3] D., Peng; T., Zongzhong; Path-Flow-Based Cross-Resolution Conversions for Simulation Model, *Transportation Systems Engineering and Information Technology*, Vol. 13, pp. 27-33, 2013.

[4] Z., Qian; H. M., Zhang; On Centroid Connectors in Static Traffic Assignment: Their Effects on Flow Patterns and How to Optimize their Selections, *Transportation Research Part B*, Vol. 46, pp. 1489-1503, 2012.

[5] S., Boris; Criticism of Generally Accepted Fundamentals and Methodologies of Traffic and Transportation Theory: A Brief Review, *Statistical Mechanics and its Applications*, Vol. 392, pp. 5261-5282, 2013.

[6] P., Parthasarathi; D., Levinson; Post-construction Evaluation of Traffic Forecast Accuracy, *Transport Policy*, Vol. 17, pp. 428-443, 2010.

[7] W., Horner; A Combined Cluster and Interaction Model: The Hierarchical Assignment Problem, *Geographical Analysis*, Vol. 37, pp. 315-335, 2005.

[8] K. T., Chang; Z., Khatib; Y., Ou; Effects of Zoning Structure and Network Detail on Traffic Demand Modeling, *Environment and Planning B: Planning and Design*, Vol. 29, pp. 37-52, 2002.

[9] L., Martinez; J., Viegas; E. A., Silva; Zoning Decisions in Transport Planning and their Impact on the Precision of Results, *Transportation Research Record*, Vol. 1994, pp. 58-65, 2007.

[10] J., Jeon; S., Kho; J., Park; Effects of Spatial Aggregation Level on an Urban Transportation Planning Model, *KSCE Journal of Civil Engineering*, Vol. 16, pp. 835-844, 2012.

[11] L., Martinez; J., Viegas; E. A., Silva; A Traffic Analysis Zone Definition: A New Methodology and Algorithm, *Transportation*, Vol. 36, pp. 581-599, 2009.

[12] L., Martinez; A., Kieffer; J., Viegas; An Integrated Application of Zoning for Mobility Analysis and Planning: The Case of Paris Region, *12th World Conference on Transport Research*, Lisbonne: Portugal, 2010.

[13] J., Jeon; S., Kho; D., Kim; Interactions of Aggregated Zoning and Network Systems: A Case Study of Seoul City, *Eastern Asia Society for Transportation Studies*, Vol. 8, pp. 211-227, 2010.

[14] M., Patriksson; The Traffic Assignment Problems-Models and Methods, Linkopring Institute of Technology, *Linkopring*, Sweden, 2003.

[15] V. M., Tom; Introduction to Transportation Engineering, Chapter 10, *NPTEL*, 2006.

[16] K. R., Overgaard; Urban Transportation Planning: Traffic Estimation, *Traffic Quarterly*, pp. 197-218, 2004.

[17] A., Mamdoohi, A., Mahpur, M., Dindar, Define Optimum Number of Connectors Based on Closeness of Assignment Results to Observed Link Volumes; Case Study: Mashhad City, *Transportation Engineering Journal*, No. 4, 2010 (in Persian).

[18] Institute of Transportation Studies & Research (ITSR), Sharif University of Technology, Trip Generation and Attraction Models, *Mashhad Transportation and Traffic Master Plan*; Report No. 76-02, 1997 (in Persian).

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

برای ارجاع به این مقاله از عبارت زیر استفاده کنید:

Please cite this article using:

M., Bashirinia, A. R., Mamdoohi, "Effects of Connector Pattern on Traffic Assignment Results; Case Study: Qazvin". *Amirkabir J. Civil Eng.*, 49(1) (2017) 175-183.

DOI: 10.22060/ceej.2016.702