یک روش پیشنهادی برای انتخاب گره اتصال برای بهبود نتایج تخصیص ترافیک، مطالعه موردی شهر مشهد

امیررضا ممدوحی (مسئول مکاتبات)، استادیار، دانشکده مهندسی عمران و محیط‌زیست، دانشگاه تربیت‌مدرس، تهران، ایران
صالحه کامیاب، دانشجوی کارشناسی ارشد، دانشکده مهندسی عمران و محیط زیست، دانشگاه تربیت‌مدرس، تهران، ایران
E-mail: armamdoohi@modares.ac.ir

دریافت: ۹۱/۰۶/۰٤ پذیرش:۹۱/۰۸/۲٤

چکیده

روند برنامه‌ریزی حمل و نقل مناطق شهری بر پایه تقسیم‌بندی محدوده مورد مطالعه به نواحی ترافیکی استوار است. برای بارگذاری سفرهای هر ناحیه روی شبکه حمل و نقل، مرکز هر ناحیه توسط حداقل یک کمان ارتباطی مجازی به شبکه عرضه متصل می‌شود. مطالعات اندکی در رابطه با تأثیر ویژگی‌های کمان‌های ارتباطی بر نتایج تخصیص ترافیک انجام شده است، اما تمامی این مطالعات بر اهمیت این مسئله تاکید دارند. در مقاله حاضر تاثیر نحوه انتخاب کمان ارتباطی بر نتایج تخصیص ترافیک بررسی و یک روش جدید برای انتخاب گره اتصال پیشنهاد می‌شود. برای پیاده‌سازی مفاهیم معرفی شده و قیاس عملکرد در یک نمونه واقعی، شهر مشهد برای مطالعه موردی انتخاب شده است. روش پیشنهادی این پژوهش به معیار نزدیکی گره اتصال به مرکز ناحیه و پارامترهای دیگری از جمله نوع گره توجه می‌کند. این روش با دو روش دیگر قیاس می‌شود، در روش اول تنها معیار نزدیکی گره اتصال به مرکز ناحیه مد نظر قرار می‌گیرد و روش دوم با معرفی معیار وزن برای تمام گره‌های ناحیه، گره اتصال را انتخاب می‌کند. برای ارزیابی این سه روش از مقایسه نتایج تخصیص ترافیک با مشاهدات حجم در ۸۷ کمان انتخابی شهر مشهد استفاده می‌شود، نتایج نشان می‌دهد که ضریب خوبی برازش روش پیشنهادی با افزایش ۳/۸ درصد نسبت به روش اول و ۲۲/۲ درصد نسبت به روش دوم قدرت بیشتری در بازسازی مشاهدات دارد.

واژه‌های کلیدی: برنامه‌ریزی حمل و نقل، کمان ارتباطی، گره اتصال، تخصیص ترافیک

۱. مقدمه

روند برنامه‌ریزی حمل و نقل مناطق شهری بر پایه تقسیم‌بندی محدوده مورد مطالعه به نواحی ترافیکی[۱] استوار است. اندازه یک ناحیه درون محدوده شهری می‌تواند از یک بلوک آماری تا یک شهرک متغیر باشد، همچنین تعداد نواحی ترافیکی می‌تواند از چند دوجین تا چند هزار تغییر کند [Sheffi, 1985]. در مدل‌سازی رایانه ای تمام ویژگیهای یک ناحیه در یک گره با نام مرکز ناحیه[۲] نشان داده می‌شوند، این گره به صورت فیزیکی در نقشه وجود ندارد و بهترین تصور این است که به صورت شناور در فضا فرض شود [Ortuzar and Willumsen, 2011]. نقاط ابتدا و انتهای سفرها درون یک ناحیه ترافیکی توزیع شده‌اند، اما از آنجا که دسترسی به این اطلاعات به سادگی میسر نیست و در صورت در دسترس بودن، کار با این حجم اطلاعات بسیار دشوار است، مرکز هر ناحیه به عنوان گره شروع و پایان تمام سفرهای آن ناحیه فرض می‌شود. برای بارگذاری سفرهای هر ناحیه روی شبکه حمل و نقل، مراکز نواحی توسط حداقل یک کمان ارتباطی[۳] مجازی به شبکه عرضه متصل می‌شود. این کمانها اولین و آخرین گام یک سفر را توضیح می‌دهند که شامل پیاده‌روی از گره‌ای است که مسافر سوار وسیله نقلیه (یا از آن پیاده) می‌شود تا گره مبدا (یا گره مقصد).

ازمیان موضوعات مرتبط با ناحیه‌بندی ترافیکی، بررسی تاثیرات نحوه انتخاب و تعداد کمانهای ارتباطی بر مراحل مختلف مطالعات حمل و نقل، موضوعی است که کمتر مورد پژوهش قرار گرفته است، چنان چه اشاره شده است که مراکز ناحیه‌ها توسط کمانهای ارتباطی با هزینه (زمان یا فاصله) متوسط الحاق به سیستم حمل و نقل برای سفرهای با مبدأ همان ناحیه به شبکه حمل و نقل متصل می‌شوند. به همان میزان که هزینه هر کمان ارتباط‌دهنده مهم است، انتخاب گرهی از شبکه که کمان ارتباطی به آن متصل می‌شود نیز مهم است، به طوری که این نقاط بایستی به نقاط ورود و خروج واقعی ناحیه نزدیک باشند [Ortuzar and Willumsen, 2011].

در پژوهشی اخیر، [Friedrich and Galster, 2009] پژوهشگران چند روش برای انتخاب گره اتصال و تعیین زمان سفر ثابت کمان‌های ارتباطی ارایه کرده‌اند، در اولین روش، به سادگی یکی از نقاط ناحیه به عنوان گره اتصال انتخاب می‌شود. در روش دوم هر ناحیه ترافیکی به n زیرناحیه تقسیم شده و به ازای هر زیرناحیه یک اتصال ایجاد می‌شود. در روش سوم با استفاده از یک فرآیند وزن‌دهی به گرهها، گرههای با وزن بیشتر به عنوان گره اتصال منظور می‌شوند. روشهای چهارم و پنجم بر این فرض استوار هستند که گره‌های اتصال در اطراف یک مرکز ناحیه 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، درصورتی که 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 کرده‌اند.

کیان و ژانگ [Qian and Zhang, 2012]، به بررسی تاثیر تعداد اتصال روی نتایج تخصیص ترافیکی ایستا[۴] پرداخته و برای این منظور، ترکیب تعداد اتصال مختلف بر روی نتایج جریان ترافیکی را در قالب سه شبکه (یک شبکه فرضی، شبکه SR-۴۱ ایالت کالیفرنیا و شبکه شهر ساکرامنتو) مورد بررسی قرار دادند. این پژوهش نشان داده است که نتایج تخصیص ترافیکی ایستا نسبت به انتخاب اتصال حساس است و نتایج تخصیص صرفاً با افزایش تعداد اتصال بهبود نمی‌یابد. به‌عبارت دیگر، تعداد اتصال زیاد اغلب موجب زیربرآورد[۵] زمان سفر کل شبکه و متوسط حجم ترافیک کمان‌ها می‌گردد. در انتها، مقاله کیان و ژانگ به ارایه یک الگوریتم بهینه‌سازی تعداد اتصال و زمان سفر آنها می‌پردازد به‌گونه‌ای که بیشینه نسبت حجم به ظرفیت (V/C) در کمانهای متصل به اتصالها حداقل گردد. نتایج این تحقیق نشان داده است که الگوهای جریان ترافیکی (شامل نسبت V/C، زمان سفر در شبکه و حجم کمانها) به‌صورت قابل توجهی متاثر از چگونگی انتخاب ترکیب اتصالهاست، افزایش بی‌رویه تعداد اتصال نتایج دلخواه را ایجاد نمی‌کند و در حالت کلی می‌تواند باعث زیربرآورد زمان سفر کل شبکه شود، از طرف دیگر تعداد اتصال بسیار کم

موجب افزایش تراکم ترافیکی به‌صورت مصنوعی در برخی از کمانهای شبکه می‌شود.

ممدوحی و همکاران در یک مطالعه موردی بر روی شبکه شهر مشهد، به بررسی تعیین تعداد بهینه اتصال بر اساس معیار نزدیکی نتایج تخصیص به مشاهدات حجم در کمان پرداخته‌اند. در این مقاله برای هر ناحیه ترافیکی، تعداد مختلف اتصال (تا ٦ اتصال برای هر ناحیه) بر اساس معیار نزدیکی گره اتصال به مرکز ناحیه تعریف می‌شود. به این ترتیب، میزان تقاضای سفر متمرکز در مرکز هر ناحیه از طریق تعداد مختلفی اتصال به شبکه معابر خیابانی[٦] (شبکه 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. در این مقاله برای تعیین تعداد بهینه اتصال برای شبکه‌ای با ابعاد واقعی و بزرگ، شبکه شهر مشهد انتخاب و ماتریس مبدا- مقصد سال ۱۳۸۷ به روش تعادلی کاربر به شبکه تخصیص داده شده است. نتایج نشان می‌دهد که در این مساله با افزایش تعداد اتصال هر ناحیه ترافیکی، نه تنها روند نزدیکی برآورد به مشاهده بهبود نیافته بلکه توام با افت نیز بوده است. با توجه به نتایج می‌توان گفت که برای شبکه معابر شهر مشهد، 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 [Mamdoohi, Mahpour and Dindar, 2011].

در مقاله حاضر برای نخستین بار در کشور، به بررسی تاثیر نحوه انتخاب کمانهای ارتباطی بر نتایج تخصیص ترافیک و پیشنهاد روشی در این زمینه پرداخته می‌شود. برای ارزیابی کارآیی روش پیشنهادی، ابتدا گره‌های اتصال براساس این روش و دو روش دیگر در مطالعه موردی شهر مشهد تعیین شده و سپس حجم جریان در کمان برای هر سه روش محاسبه می‌شود. برای ارزیابی تاثیر نحوه انتخاب کمانهای ارتباطی از مقایسه مشاهدات حجم جریان در کمان با برآورد آن تحت سه روش فوق از پیاده‌سازی مدلهای برآورد تقاضا در نرم‌افزار Visum.۱۱، [Visum, version۱۱, PTV, 2008]؛ استفاده می‌شود. ساختارمقاله به این شکل است که در بخش بعد، متدولوژی و روش پیشنهادی انتخاب کمانهای ارتباطی و در بخش سوم ویژگیهای مطالعه موردی شهر مشهد و اطلاعات آن ارایه می‌شود. در بخش چهارم مدل‌سازی و ارایه نتایج و در بخش پنجم نتیجه‌گیری و پیشنهادات برای پژوهشهای بعدی آورده شده است.

۲. روش‌شناسی پژوهش

بر اساس بهترین دانش این نویسندگان، ناحیه‌بندی ترافیکی موضوعی است که بسیار کم مورد پژوهش قرار گرفته است و از میان موضوعات مرتبط با آن، تاثیر ویژگیهای کمان ارتباطی بر مراحل مختلف مطالعات حمل و نقل از دیگر موارد کمتر مورد مطالعه قرار گرفته است. سه سوال اساسی که هنگام ایجاد کمانهای ارتباطی مطرح می‌شود به قرار زیر است:

۱. کدام یک از گرههای شبکه به مرکز ناحیه ترافیکی متصل شوند؟

۲. به مرکز هر ناحیه ترافیکی چند گره متصل شوند؟

۳. چه هزینه‌ای برای کمانهای ارتباطی در نظر گرفته شود؟

دو سوال نخست بر توزیع ترافیک در شبکه تاثیر گذار خواهد بود، تنها در صورتی که تقاضای ترافیک از چندین گره تغذیه شود حجم ترافیک در مجاورت نواحی ترافیکی به مقدار واقع نزدیک می‌شود. سومین سوال بر زمان سفر و انتخاب وسیله نقلیه در یک مدل تقاضا موثر خواهد بود. در این پژوهش تلاش می‌شود تا به سوال اول پاسخ داده شود، برای این امر، فروض زیر بر مراحل مختلف پژوهش اعمال شده است:

۱. تعداد کمانهای ارتباطی در تمام نواحی ثابت و برابر یک اتصال است

۲. زمان سفر کمانهای ارتباطی مساوی و برابر صفر است.

۳. محل مرکز ناحیه در هر سه روش یکسان و بدون تغییر است.

۲-۱ روشهای ارزیابی

در پژوهش حاضر از سه روش برای ارزیابی تأثیر نحوه انتخاب گره اتصال بر نتایج تخصیص ترافیک استفاده شده است. روشهای

اول و دوم برگرفته از ادبیات موجود و روش سوم، روش پیشنهادی این پژوهش است که در ادامه به توضیح هریک پرداخته می‌شود.

۲-۱-۱ روش نزدیک‌ترین گره

در روش اول، نزدیک ترین گره به مرکز هر ناحیه به عنوان گره اتصال انتخاب می‌شود. مزیت اصلی این روش سادگی اجرا و عدم نیاز به اطلاعات مربوط به کمانها و گرههای شبکه است. از معایب این روش عدم آگاهی نسبت به نوع گره انتخاب شده است، به عنوان مثال ممکن است گره‌ای در بزرگراه به عنوان گره اتصال انتخاب شود.

۲-۱-۲ روش وزن‌دهی گرهها

روش دوم، روش پیشنهادی گالستر و فردریش است که در سال ۲۰۰۹ ارایه شده است. مراحل این روش به ترتیب زیر است:

۱. در اتصال مرکز هر ناحیه به هر گره شبکه، معیار وزن برای هر گره شبکه به صورت زیر محاسبه می‌شود. در این رابطه وزن هر گره از شبکه توسط معیار طول کمانهای وارد به آن گره بیان می‌شود:

$$w_{n,z} = \frac{\sum_{l=l}^{L_n} 0.5 l_l}{\sum_{l=l}^{L_z} l_l} \qquad (۱)$$

که در آن:

l_l: طول لینک شماره l

L_n: مجموعه لینک‌های متصل به گره n

L_Z: مجموعه تمام لینک‌های ناحیه z

$W_{n,z}$: وزن گره n از ناحیه z

۲. سپس برای هر گره n از ناحیه z پارامتر S_n به صورت زیر محاسبه می‌شود. این پارامتر (Sn) برای هر گره n، مجموع وزن سایر گره‌های واقع در فاصله u از آن گره را نشان می‌دهد:

$$s_n = \sum_{i=1}^{N_z} w_{i,z} \quad \forall i \ \ with \ \ d_{i,n} \prec u \qquad (۲)$$

$$u = \sqrt{\frac{f_Z}{10.\Pi}} \qquad (۳)$$

که در آن:

S_n: مجموع وزن برای گره n

$W_{i,z}$: وزن گره i در ناحیه z

$d_{i,n}$: فاصله بین گره i و گره n به متر

u: شعاعی که گره‌های درون آن در محاسبات در نظر گرفته می‌شوند

f_z: مساحت ناحیه z به متر مربع

N_Z: مجموعه گره‌های ناحیه z

۳. گره با بیشترین S_n به عنوان اولین گره اتصال تعیین می‌شود، بنابراین گره‌ای که در مجاورت خود دارای گره‌هایی با وزن بیشتر است، برای پخش سفرها بر روی شبکه عرضه انتخاب می‌شود.

٤. سایر گره‌هایی که در شعاع u گره n قرار گرفته‌اند حذف می‌شوند.

۵. گره اتصال بعدی با تکرار مراحل ۲ به بعد برای گره‌های باقی‌مانده تعیین می‌شود.

٦. پایان: زمانی که تمام گره‌های ناحیه z بررسی شوند.

شعاع u دربرگیرنده محیطی از ناحیه z است که گره های درون آن در رابطه (۲) استفاده می‌شوند. شعاع u معرفی شده در رابطه (۳) برای ناحیه‌بندی شهر مشهد مناسب تشخیص داده نشد، زیرا در اکثر ناحیه‌ها در این شعاع از گره مورد بررسی هیچ گره دیگری قرار نمی‌گرفت، بنابراین پس از آزمونهای مختلف و جایگزینی مقادیر متفاوت، در این پژوهش رابطه (۳) به صورت زیر اصلاح شده است:

$$u = \sqrt{\frac{f_Z}{\Pi}} \qquad (۳')$$

۲-۱-۳ روش غربالگری (پیشنهادی):

روش سوم، روش پیشنهادی این پژوهش است که بر غربالگری گرهها و محدود کردن مجموعه گرههای قابل انتخاب برای گره اتصال تاکید دارد. معیارهای این روش بعضاً به شکل پراکنده در منابع مختلف مطرح شده‌اند (به عنوان مثال رجوع کنید به [Friedrich and Galster, 2009;Cambridge Systematic Inc, Florida, 2007;Openshaw, 2000]؛ اما در

این پژوهش مجموعه این معیارها به صورت مدون و نظام‌مند گردآوری و در قالب یک الگوریتم ساده و قابل اجرا پیاده‌سازی شده است.

معیارهای موثر در این الگوریتم به قرار زیر است:

۱. گره‌هایی که بر روی رمپ یا بزرگراه قرار دارند گزینه مناسبی برای تبدیل به گره اتصال نیستند، زیرا در واقعیت، تقریبا هیچگاه سفرها بلافاصله از رمپ یا بزرگراه آغاز نمی‌شوند.

۲. گره‌های ایزوله، گره‌هایی هستند که تنها یک کمان ارتباطی به آنها متصل شده است، این گره‌ها نیز برای تبدیل به گره اتصال مناسب نیستند، زیرا به دلیل ایزوله بودن امکان پخش مناسب سفرها را ندارند.

۳. چنانچه دو کمان ارتباطی به یک کمان از شبکه متصل شوند دو معیار وجود دارد:

- حداقل طول آن کمان باید برابر d باشد.
- به یک کمان از شبکه تنها می‌توان یک کمان ارتباطی را متصل کرد.

در این پژوهش معیار دوم مد نظر قرار گرفته است یعنی اگر به کمانی از شبکه یک کمان ارتباطی متصل شود، آن کمان از لیست کمانهای شبکه حذف خواهد شد و دیگر نمی‌توان به آن کمان ارتباطی دیگری متصل ساخت، این معیار برای جلوگیری از تراکم بالا در این کمانها قرار داده شده‌است.

٤. نزدیک ترین گره به مرکز ناحیه به عنوان گره اتصال انتخاب می‌شود، این معیار نیز به دلیل بازسازی رفتار مردم اعمال شده است.

الگوریتم این روش در صفحه بعد آورده شده است. مزیت این الگوریتم سادگی و قابلیت اجرایی آن است. در این الگوریتم ابتدا گرههای نامناسب برای تبدیل به گره اتصال حذف شدند، سپس فاصله تمامی گرههای ناحیه از محل مرکز ناحیه محاسبه شد و نزدیک ترین گره به مرکز ناحیه به عنوان گره اتصال انتخاب شد. در این الگوریتم z تعداد نواحی ترافیکی در مطالعه موردی، M_n مجموعه گره‌های ناحیه n، $d_{i,n}$ فاصله گره i از مرکز ناحیه n، p_n نمایانگر گره با کمترین فاصله از مرکز ناحیه، L_n کمانی که گره p_n روی آن قرار دارد، C_n گره اتصال ناحیه n و C_L مجموعه شامل گرههای اتصال تمام نواحی است.

۲-۲ روشهای ارزیابی

در این قسمت معیارهای مختلف ارزیابی روشهای تعیین گره اتصال و تعداد بهینه آن که در مقالات موجود به کار برده شده‌اند، معرفی می‌شوند.

فردریش و گالستر (۲۰۰۹) برای ارزیابی روشها در پژوهش خود، دو معیار زمان سفر ماکرو[۷] و میکرو[۸] را به صورت زیر معرفی کرده‌اند.

$t_{macro,z,d}$: زمان سفر کلان بین ناحیه z و مقصد d.

زمان سفر کلان ناحیه z عبارت است از زمان سفر از مرکز ناحیه z تا گره مقصد d.

$t_{micro,n,d}$: زمان سفر جزئی بین گره مبدا n و مقصد d.

برای محاسبه زمان سفر جزئی ناحیه z، هر گره ناحیه به عنوان گره مبدا انتخاب شده و زمان سفر از این گره تا گره مقصد d تعیین می‌شود، زمان سفر جزئی، مجموع این زمان سفرها خواهد بود.

برای ارزیابی نهایی، پارامتر تفاوت بین زمان سفر کلی و جزئی به صورت زیر معرفی شده است:

$$\Delta_Z = \frac{1}{D_Z}\sum_{d=1}^{D_Z}\left[\left(\frac{1}{N_Z}\sum_{n=1}^{N_Z} t_{micro,n,d}\right) - t_{macro,z,d}\right] \qquad (٤)$$

که در آن:

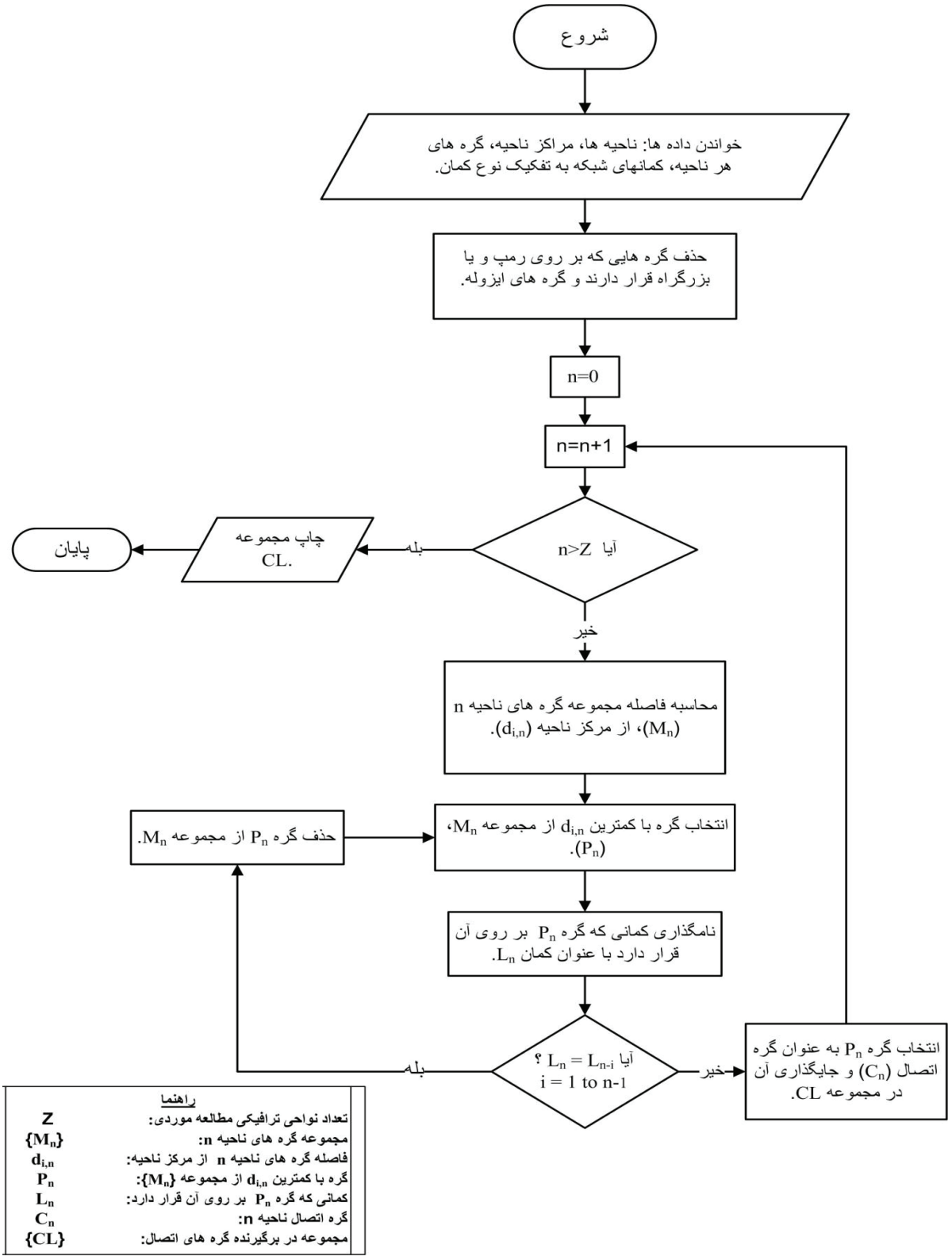
Δ_z: تفاوت بین زمان سفر کلی و جزئی در ناحیه z

D_Z: مجموعه تمام مقاصد d برای ناحیه z

N_Z: مجموعه تمام گره‌های ناحیه z

فردریش و گالستر بیان کرده‌اند که هرچه مقدار Δ_z در روشی کمتر باشد، نقاط اتصال در آن روش بهتر بازسازی شده‌اند.

کیان و ژانگ درقسمت نخست مقاله خود [Qian and Zhang, 2012] به بررسی تاثیر چگونگی انتخاب و تعدادکمان‌های ارتباطی بر نتایج تخصیص ترافیکی ایستا پرداخته‌اند و در قسمت دوم یک الگوریتم جهت بهینه‌سازی تعداد کمان‌های ارتباطی



شکل ۱. الگوریتم روش پیشنهادی این پژوهش برای تعیین گره اتصال

معرفی کرده‌اند. در قسمت نخست برای ارزیابی تاثیر چگونگی انتخاب و تعداد کمان‌های ارتباطی بر نتایج تخصیص ترافیک در سه شبکه شهری مختلف از معیارهای حجم در کمان، نسبت v/c و زمان سفر کلی استفاده شده است و نتایج نشان داده است که تغییر تعداد کمان‌های ارتباطی و مکان آنها بر نتایج موثر است. در ادامه پژوهش، کیان و ژانگ برای بهینه‌سازی تعداد کمانها از مسئله بهینه‌سازی زیر استفاده کرده‌اند:

$$\min_u y \qquad (۵)$$

$$s.t. \quad y \geq \frac{x_a(u)}{C_a}, \qquad \forall a \in D$$

که در آن:

y: حداکثر نسبت حجم جریان در کمان به ظرفیت کمان

u: زمان سفر کمان ارتباطی

$x_a(u)$: حجم جریان در کمان a تحت تخصیص ترافیک ایستای تعادلی کاربر، با زمان سفر کمان ارتباطی u

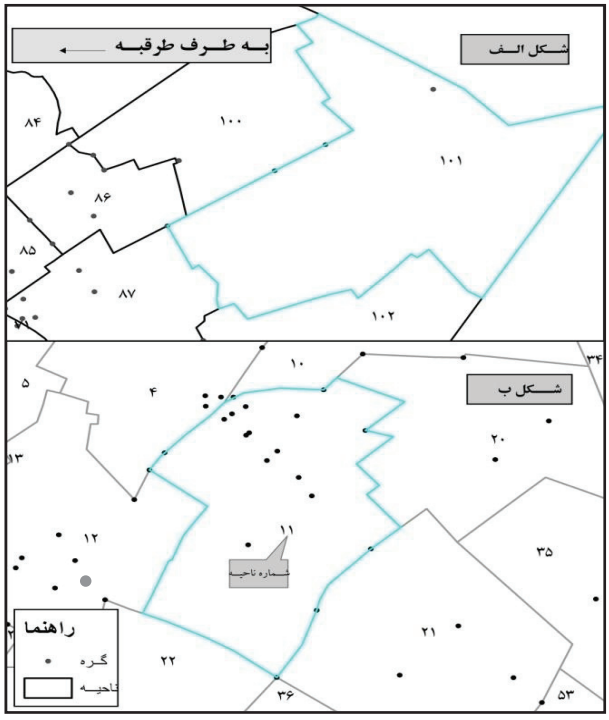
C_a: ظرفیت کمان a

D: مجموعه کمان‌هایی که مستقیما به کمانهای ارتباطی متصل اند

انتخاب معیار برای ارزیابی روشهای مطرح شده در هر پژوهش به نوع پژوهش، اطلاعات در دسترس و تمایل پژوهشگران بستگی دارد. از اهداف اصلی پژوهشهای انجام شده در خصوص کمانهای ارتباطی، نزدیک شدن هرچه بیشتر روش انتخاب کمانهای ارتباطی به واقعیت است، بنابراین معیار نزدیکی نتایج به مشاهدات معیار مناسبی برای این ارزیابی است که با توجه به عدم وجود داده‌های لازم کمتر مورد استفاده قرار گرفته است. در دسترس بودن مشاهدات حجم ۸۷ کمان انتخابی شهر مشهد یک مزیت بزرگ است که به پژوهشگر اجازه می‌دهد نتایج پژوهش خود را با این اطلاعات بسنجد.

۳. ویژگیهای نمونه موردی

شهر مشهد به عنوان دومین شهر بزرگ ایران و با داشتن جمعیتی بالغ بر ۵/۲ میلیون نفر[Transportation and Traffic Organisation of Mashad, Iran, 2009] و شبکه معابر متراکم، ویژگیهای مناسبی برای پیاده‌سازی مفاهیم معرفی شده دارد. از طرف دیگر در حین انجام این پژوهش برخی ویژگیهای ناحیه‌بندی ترافیکی مشهد مشخص شد که در زیر بیان شده‌اند:



شکل ۲. نمایش تراکم گره ها در ناحیه‌بندی ۱۴۱گانه شهر مشهد. الف) ناحیه ۱۰۱ و ب) ناحیه ۱۱

– در برخی از نواحی ترکیب نوع گرهها به گونه‌ای است که انتخاب گره اتصال را دشوار می‌کند، مانند ناحیه ۱ که تمام گره‌ها بر روی رمپ قرار گرفته‌اند.

– نواحی ۱٤۱گانه شهر مشهد دارای طیف وسیعی از تراکم گره‌ها (نسبت تعداد گره به مساحت ناحیه) هستند، ناحیه ۱۰۱ با تراکم ۰/۰۲٤ دارای کمترین این مقدار و ناحیه ۱۱ با مقدار ۱/۹٦ ازمتراکم‌ترین ناحیه‌ها است (شکل ۲)، این ویژگی به پژوهشگران اجازه می‌دهد که مجموعه‌ای از نواحی متفاوت را در پژوهش خود مورد بررسی قرار دهند.

تراکم گره ها در نواحی به گونه‌ای است که شعاع u معرفی شده (در رابطه ۳) در الگوریتم فردریش، برای شهر مشهد به صورت رابطه (۳') تغییر کرد، زیرا می‌بایست شعاع u به قدری افزایش یابد که در این شعاع هر گره مورد بررسی، گرهی وجود داشته باشد.

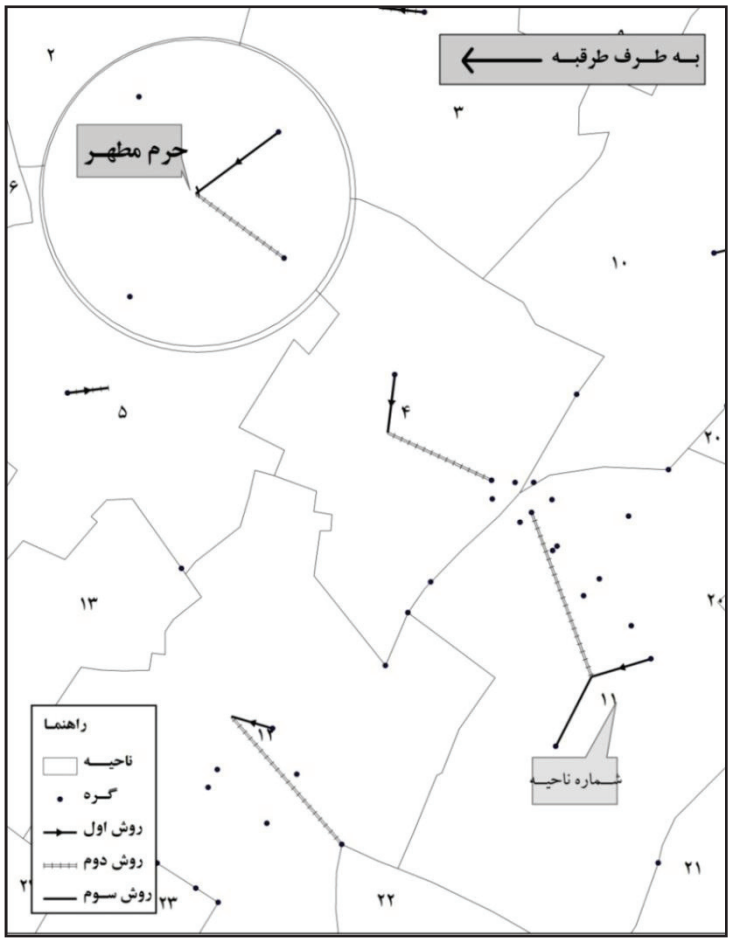
٤. نتایج

ناحیه‌بندی ترافیکی از مهم‌ترین گامها در فرآیند مدل‌سازی محدوده مورد مطالعه است. پس از انجام ناحیه‌بندی برای هر ناحیه یک مرکز ناحیه انتخاب می‌شود که نمایانگر تمام ویژگیهای آن ناحیه و گره شروع و پایان تمام سفرهای انجام شده در ناحیه است. برای بارگذاری سفرهای انجام شده بر روی شبکه عرضه، هر ناحیه توسط حداقل یک کمان ارتباطی به کمان‌های شبکه متصل می‌شود. در این مقاله سعی شده تا تاثیر نحوه انتخاب گره اتصال بر نتایج تخصیص ترافیک بررسی شود. برای این منظور سه روش انتخاب گره اتصال مورد مقایسه قرار گرفتند. همان‌طور که در شکل ۳ نشان داده شده است کمانهای ارتباطی ایجاد شده در سه روش در اکثر نواحی متفاوت‌اند، یک معیار مناسب برای این مقایسه طول کمان ارتباطی است که در جدول ۱ پارامترهای آماری مربوط به آن آورده شده است. در پژوهش جاری، نقاط اتصال با توجه به سه روش توضیح داده شده برای ناحیه‌بندی ۱٤۱گانه شهر مشهد مشخص شدند، سپس حجم در کمانها با تخصیص ماتریس مبدا- مقصد سال ۱۳۸۷ به نرم‌افزار تخصصی V – sum.۱۱، [Visum, version۱۱, PTV, 2008]؛ به دست آمد و برای بررسی تاثیر نحوه انتخاب کمان ارتباطی بر نتایج تخصیص ترافیک از روش مقایسه نتایج با مشاهدات در ۸۷ کمان انتخابی استفاده شده است. مشاهدات حجم در ۸۷ کمان انتخابی پراکنده در سطح شبکه عرضه، از طریق شمارش حجم وسایل نقلیه عبوری و تبدیل آن به همسنگ سواری به دست آمده است.

جهت ارزیابی نتایج روشها و مقایسه آنها از رگرسیون خطی[۹] استفاده شده است. رگرسیون خطی رویکردی است برای مدل‌سازی رابطه یک متغیر وابسته (y)، با یک یا چند متغیر مستقل (x_i)، در حالتی که یک متغر مستقل موجود باشد، رگرسیون ساده[۱۰] و در حالتی که چند متغیر مستقل موجود باشد، رگرسیون چندگانه[۱۱] است. برای مقایسه بین این سه روش از پارامترهای آماری F ،R^2 و t-test استفاده شده است. آماره R^2 معرف ضریب تعیین[۱۲] یا ضریب خوبی برازش است. این آماره معیاری از میزان خوبی یا توان بازسازی مشاهدات ارایه می‌دهد. از آماره F برای اعتبار یا معنی داری کل رگرسیون

جدول ۱. پارامترهای آماری طول کمان‌های ارتباطی ایجاد شده در سه روش

ردیف	پارامترآماری	روش اول	روش دوم	روش سوم
۱	حداکثر	۰.۸۳٤	۲.۳۸	۰.۸۳٤
۲	حداقل	۰.۰۳۷	۰.۰٤٦	۰.۰٤۲
۳	میانگین	۰.۱۷٤	۰.٤۰٥	۰.۱۸٥
٤	واریانس	۰.۰۱٥	۰.۱۱۹	۰.۰۱۹



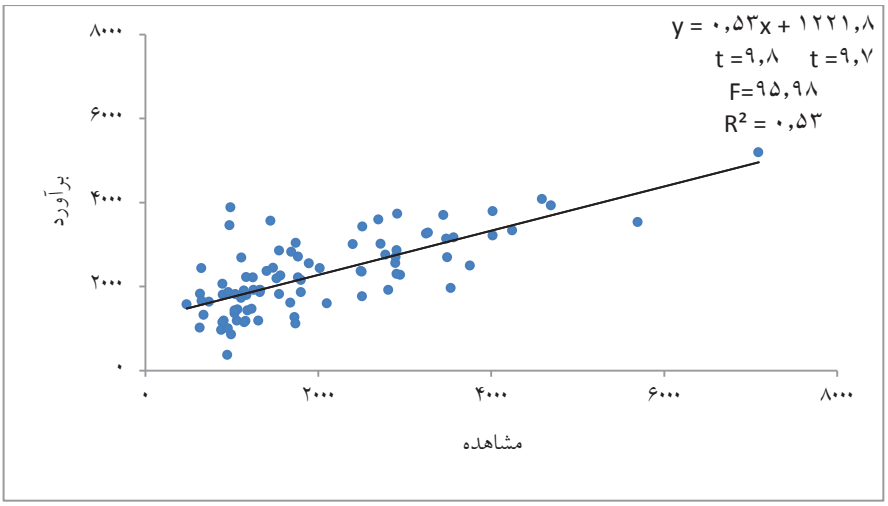
شکل ۳. نمونه‌ای از کمان‌های ارتباطی ایجاد شده در سه روش

جدول ۲. نتایج تحلیل رگرسیون خطی برآورد- مشاهده حجم در کمان

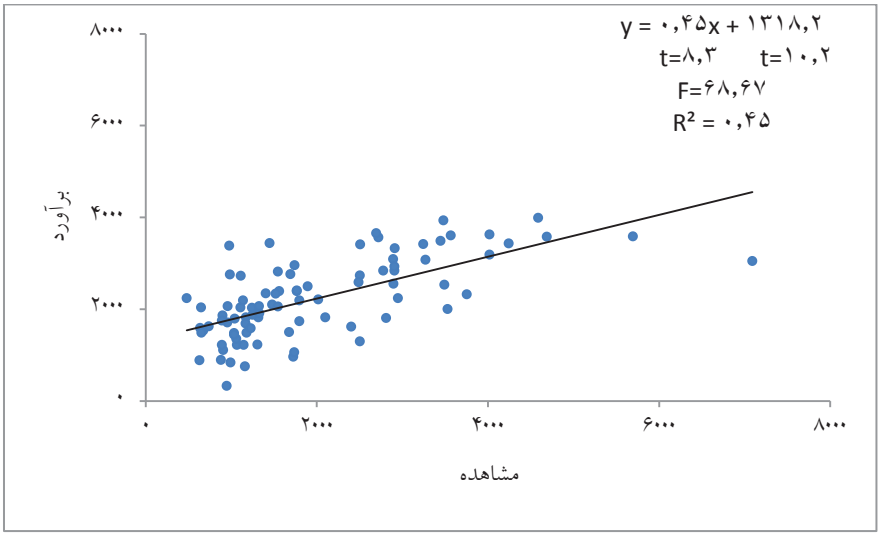
روش	شیب خط برازش (a)	t(a)	عرض از مبدا (b)	t(b)	ضریب خوبی برازش (R^2)	F
۱	۰/۵۳	۹/۸	۱۲۲۱/۸	۹/۷	۰/۵۳	۹۵/۹۸
۲	۰/٤٦	۸/۳	۱۳۱۸/۲	۱۰/۲	۰/٤٥	٦۷/۷
۳	۰/٥٤	۹/۷۱	۱۲۱٤/۷	۱۰/۱	۰/٥٥	۱۰۳/٤

(آزمون فرضیه برابری با صفر همزمان تمام ضرایب) استفاده می‌شود. آماره t برای آزمون فرضیه برابری با صفر تک تک ضرایب به شکل جداگانه است [Behboodian, 2011]. تغییرات این پارامترها در روشهای مطرح شده در جدول ۲ آورده شده است.

روش اول انتخاب گره اتصال، با تعیین محدودیت حداکثر طول ۱ کیلومتر و انتخاب نزدیک ترین گره به محل مرکز ناحیه انجام شد. شکل ٤ پراکنش برآورد به مشاهده حجم در کمان در این روش را نشان می‌دهد. در روش دوم تمامی گره های ناحیه با استفاده از رابطه (۱) وزن‌دهی شدند و سپس پارامتر مجموع وزن برای هر گره با استفاده از رابطه (۲) و (۳^2) محاسبه شد و گره با بیشترین مجموع وزن به عنوان گره اتصال انتخاب شد. نتایج پراکنش برآورد به مشاهده این روش در شکل ۵ نشان داده شده است.



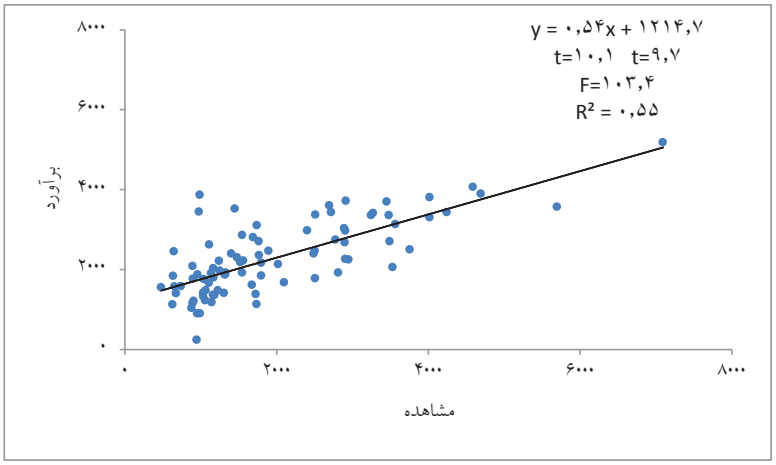
شکل ٤. پراکنش برآورد- مشاهده حجم در کمانها در روش اول



شکل ٥. پراکنش برآورد- مشاهده حجم در کمانها در روش دوم

در روش سوم که روش پیشنهادی این پژوهش است، ابتدا گره‌های هر ناحیه غربالگری شدند، یعنی گره هایی که برای تبدیل به گره اتصال مناسب نیستند حذف شدند، از جمله گره های ایزوله و گرههای واقع شده بر روی رمپ. از بین سایر گره‌ها نزدیک ترین گره به محل مرکز ناحیه با استفاده از الگوریتم معرفی شده به عنوان گره اتصال انتخاب شده است. شکل ٦ نزدیکی نتایج به مشاهدات برای این روش را نشان می‌دهد.

در روش اول مقدار ضریب x برای رابطه برازش شده برابر ۰/۵۳ است که با توجه به مقدار t محاسبه شده (۹.۸) در سطح مناسبی از معنی‌داری قرار دارد، همچنین مقدار عدد ثابت (۱۲۲۱/۸) نیز در سطح معنی‌داری مناسبی قرار دارد. عدد F که دقت کل رابطه ساخته شده را نشان می‌دهد برابر ۹۵/۹۸ است که سطح معنی‌داری خوبی دارد. ضریب تعیین برازش یا ضریب خوبی مدل در این روش برابر ۰/۵۳ است. در روش دوم نیز اعداد مربوط به ضریب x و عدد ثابت و سطح معنی داری آنها قابل قبول هستند. عدد F مربوط به روش دوم برابر ٦٨/٧ است که در مقایسه با روش اول حدود ۲۸ درصد کاهش داشته است. ضریب خوبی برازش روش دوم به میزان ۱۵ درصد در مقایسه با روش اول کاهش یافته و به مقدار ٤٥//۰ رسیده است. روش سوم علاوه بر اینکه داری مقادیر ضریب x و عدد ثابت در سطح معنی‌داری مناسبی است،



شکل ٦. پراکنش برآورد- مشاهده حجم در کمانها در روش سوم

در مقایسه با دو روش دیگر از ضریب خوبی برازش و F بالاتری نیز برخوردار است. مقدار R^2 برابر ۰/۵۵ و F برابر ۱۰۳/٤ است. بنابراین در مقام مقایسه با پارامترهای معرفی شده برای نمونه موردی شهر مشهد روش سوم به نسبت دو روش دیگر قدرت بیشتری در بازسازی مشاهدات داشته است.

۵. نتیجه‌گیری و پیشنهادات

روند برنامه‌ریزی حمل و نقل مناطق شهری بر پایه تقسیم‌بندی محدوده مورد مطالعه به نواحی ترافیکی استوار است. در مدل‌سازی رایانه ای تمام ویژگیهای یک ناحیه در یک گره با نام مرکز ناحیه، نشان داده می‌شوند. برای بارگذاری سفرهای هر ناحیه روی شبکه حمل و نقل، مرکزهر ناحیه توسط حداقل یک کمان ارتباطی مجازی به شبکه عرضه متصل می‌شود. روند تعیین نقاط اتصال کمانهای ارتباطی از مواردی است که بسیار کم مورد پژوهش قرار گرفته است. در این مقاله تاثیر نحوه انتخاب گره اتصال بر نتایج تخصیص ترافیک با معرفی یک روش جدید برای انتخاب گره اتصال مورد بررسی قرار گرفته است. ارزیابی این روش پیشنهادی از طریق مقایسه حجم جریان در کمانهای مشاهده شده با نتایج این روش و دو روش دیگر در شهر مشهد انجام گرفته است. این سه روش در بخش متدلوژی معرفی شده‌اند که روش اول تنها بر معیار نزدیکی گره اتصال به مرکز ناحیه تاکید دارد، روش دوم توسط فردریش و گالستر بر پایه وزن‌دهی به گرهها مطرح شده و در روش سوم که روش پیشنهادی این مقاله است یک الگوریتم ساده برای انتخاب گره اتصال معرفی شده است. مزیت اصلی این الگوریتم استفاده از مفاهیم آشنا در قالب یک الگوریتم ساده و قابل اجرا است که سعی در هرچه نزدیک تر کردن نحوه انتخاب گره اتصال به رفتار واقعی مردم دارد. دقت در نمودارها و نتایج این پژوهش نشان می‌دهد که معیار نزدیکی گره اتصال به مرکز ناحیه در نزدیکی مشاهدات به برآورد موثر است، چنانچه روشهای اول و سوم که این معیار را رعایت کرده‌اند به نسبت روش دوم قدرت بیشتری در بازسازی مشاهدات داشته‌اند، روش اول و روش سوم دارای افزایش ضریب خوبی برازش به میزان ۱۷/۸ و ۲۲/۲ درصد نسبت به روش دوم هستند. از سوی دیگر روش سوم با ضریب خوبی برازش ۰/۵۵ به نسبت روش اول با ضریب خوبی برازش ۰/۵۳ مدل دقیق‌تری برای بازسازی مشاهدات ارایه کرده است. با استفاده از نتایج این مقاله و انتخاب گرههای کمان ارتباطی به شکل هوشمندانه‌تر، می‌توان با هزینه بسیار اندکی نتایج واقعی‌تری از مدلهای برآورد تقاضا به دست آورد. با پیاده‌سازی روش پیشنهادی برای شهر مشهد، مشاهده شد که این روش به سادگی قابلیت کاربرد برای مسایل بسیار بزرگ و واقعی را با هزینه بسیار اندک نسبت به هزینه این نوع مطالعات نیز دارد.

در این پژوهش تعداد کمانهای ارتباطی هر ناحیه ثابت و برابر یک کمان فرض شده است، در پژوهشهای آینده می‌توان تعداد کمانها را نیز متغیر در نظر گرفت. زمان سفر تمام کمانهای ارتباطی مساوی

و برابر صفر فرض شده که پیشنهاد می‌شود در پژوهشهای بعدی تاثیر این پارامتر در نتایج بررسی شود. از دیگر موارد قابل بررسی در مطالعات آینده معرفی معیار ارزیابی دیگری برای این پژوهش است. مدل ساخته‌شده در این پژوهش نسبت به توپولوژی شبکه و دسترسی ناحیه‌ها به شبکه عرضه حساس نیست، در مطالعات آتی می‌توان تاثیر شبکه عرضه بر نحوه انتخاب گره اتصال را مورد بررسی قرار داد. همچنین هوریتز در مقاله خود [Horowitz, ۲۰۰۱] به جای استفاده از رویکرد معمول تخصیص چهارمرحله‌ای که مستلزم استفاده از مفاهیم کمان ارتباطی و مرکز ناحیه است، از روش area spread assignment استفاده کرده است که خطای ناشی از استفاده از مفاهیم ذکر شده را بسیار کاهش می‌دهد. این روش قابل توجهی است که می‌تواند در مطالعات آتی کشور مورد توجه قرار گیرد.

٦. سپاسگزاری

ازمسئولین و کارشناسان محترم سازمان حمل و نقل و ترافیک شهر مشهد که داده‌ها و اطلاعات لازم برای انجام پژوهش جاری را در اختیار گذاشتند، سپاسگزاری می‌شود.

۷. پی نوشتها

1-Traffic Analysis Zone (TAZ)
2- Zone centroid
3- Connector
4- Static traffic assignment
5- Under estimation
6- Roadway network
7- Macro
8- Micro
9- Linear regression
10- Simple linear regression.
11- Multivariate linear regression
12- Coefficient of determination

۸. منابع

- Cambridge Systematic Inc, Florida. (2007) "A recommended approach to delineating traffic analysis zones in Florida", prepared for Florida Department of Transportation Systems Planning Office.

- Friedrich, M. and Galster, M. (2009) "Methods for generating connectors in transport planning models", Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board, 2132(-1), pp.133-142.

- Horowitz, Alan J. (2001) "Computational issues in increasing spatial precision of traffic assignments", Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board, 1777(-1), pp.68-74

- Openshaw, Stan (2000) "The modifiable areal unit problem", Published by Geo Books. Norwich, Printed by Headley Brothers Ltd. Kent.

- Ortuzar, Juan de Dios and Willumsen, Luis, G. (2011) "Modeling transport", Third Edition, John Willy and Sons.UK.

- Qian, Z. and Zhang, H. M. (2012) "On centroid connectors in static traffic assignment: Their effects on flow patterns and how to optimize their selection",Transportation Research Part B, 46 (2012) pp.1489–1503.

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

- Visum, version 11, PTV, Planung Transport Verkehr AG, Germany, (2008).

– بهبودیان، جواد (۱۳۹۰) " آمار و احتمالات مقدماتی"، دانشگاه امام رضا(ع)، مشهد

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

– ممدوحی، امیررضا، ماهپور، علیرضا ودیندار، محمد (۱۳۹۰) "تعیین تعداد بهینه اتصال بر اساس معیار نزدیکی نتایج تخصیص به مشاهدات حجم در کمان، مطالعه موردی شهر مشهد"، فصل‌نامه مهندسی حمل و نقل، شماره ٤، ص۸۷ – ۹۸.