تحلیل حساسیت وضعیت ترافیک شبکه معابر نسبت به طول سفرهای شهری (مطالعه موردی بخشی از شبکه شهر تهران)

بهنام امینی*، عضو هیأت علمی دانشگاه بین‌المللی امام خمینی
حامد حبیبی، کارشناس ارشد برنامه‌ریزی حمل ونقل دانشگاه بین‌المللی امام خمینی
*amini@eng.ikiu.ac.ir

تاریخ دریافت مقاله: شهریور ۹۲ تاریخ پذیرش: اردیبهشت۹۳

چکیده

کاهش طول سفرهای شهری از جمله اقدامات مدیریت تقاضاست که عمدتاً از طریق اصلاح الگوی کاربری‌های زمین و نحوه دسترسی‌ها تحقق می‌یابد. با وجود این که تأثیر مثبت کاهش طول سفرها در وضعیت ترافیک شهرها به صورت کیفی پذیرفته است اما در مقدار و محدوده اثربخشی آن ابهام وجود دارد. هدف اصلی از این مقاله بررسی رابطه میان طول سفرهای شهری و وضعیت ترافیک معابر بوده است. در این راستا محدوده مطالعه شامل مناطق شهرداری تهران و بخشی از شبکه معابر در رده‌های آزادراهی و شریانی به همراه یک ماتریس مبدأ- مقصد فرضی در نظر گرفته شد. سپس بارگذاری شبکه با استفاده از یک نرم‌افزار تخصیص در شرایط پایه صورت گرفت. در مرحله بعد از طریق اعمال تغییر در ماتریس مبدأ- مقصد و کاهش میانگین طول سفرها مقدار تأثیرگذاری کاهش طول سفر بر پارامترهای ترافیک شامل میانگین حجم و زمان سفر معابر سنجیده شد. نتایج تحلیل حساسیت نشان می‌دهد که کاهش میانگین طول سفرهای شهری دریک بازه تأثیر کاهشی در حجم ترافیک و زمان سفر دارد و پس از عبور از یک نقطه مینیمم افزایشی می‌شود. با اطلاع از این روند تغییرات می‌توان سیاست‌های مدیریت تقاضا را به نحو مؤثرتری اعمال کرد.

کلید واژه : مدیریت تقاضای سفر، طول سفرهای شهری، حجم ترافیک، زمان سفر

۱- مقدمه

امروزه در اکثر شهرهای بزرگ دنیا معضل حجم بالای ترافیک در معابر شهری باعث کندی حرکت وسایل نقلیه، تأخیر و هدر رفتن وقت و هزینه، آلودگی هوا و مصرف بی‌رویه انرژی می‌شود. به منظور بهبود وضعیت ترافیک شهرها اقدامات گسترده‌ای انجام شده که از جمله مهم‌ترین آن‌ها مدیریت تقاضای سفر است تا از حجم ترافیک معابر به ویژه در ساعات اوج کاسته شود.

یکی از عوامل اصلی تأثیرگذار بر حجم ترافیک معابر، طول سفر افراد است. افزایش طول سفر باعث افزایش طول و مدت اشغال معابر و در نتیجه افزایش حجم آن می‌شود. بنابراین یکی از راه‌های کاهش حجم ترافیک، کاستن از طول سفرهای شهری است. تا کنون روش‌های مختلفی برای کاهش طول سفرهای شهری در قالب مدیریت تقاضای سفرها پیشنهاد و یا به مورد اجرا گذارده شده است که از جمله آن‌ها می توان به توسعه و پراکنش مراکز اداری، تجاری، خدماتی و آموزشی اشاره کـرد[۲،۱]. این گونه اقدامات دارای اثرات متفاوتی هستند که مستلزم انجام مطالعات برای هر شرایط است. به طور کلی سه عامل اصلی بر طول سفرها تأثیرگذار است.

- مشخصه‌های کاربری زمین
- مشخصه‌های شبکه حمل و نقل
- مشخصه‌های اجتماعی - اقتصادی[۳].

مشخصه‌های شهرسازی مانند تراکم و نوع کاربری‌های زمین، اختلاط کاربری‌ها، فرم شهری، طراحی شهری، پیوستگی فعالیت‌ها در شهر همگی در کاهش تقاضای سفر با وسیله نقلیه تأثیر دارند که از آن جمله می‌توان کاهش فراوانی و طول سفر و بهبود انتخاب وسیله سفر را ذکر کرد. شبکه حمل و نقل نیز مانند کاربری می‌تواند بر طول سفرهای شهری تأثیرگذار باشد. اثر شبکه حمل و نقل بر طول سفرهای شهری در قالب مفهوم دسترسی بیان می‌شود. به هر میزان که دسترسی در عناصر شبکه‌های مختلف حمل و نقل بالاتر باشد، ارتباط بین خیابان‌ها بیشتر شده و در نتیجه امکان سفر مستقیم‌تر به مقاصد وجود خواهد داشت. مشخصه‌های اجتماعی - اقتصادی نیز شامل درآمد خانوار، سرانه مالکیت وسیله نقلیه، ویژگی‌های فرهنگی و غیره است.

با اصلاح الگوی کاربری زمین و فرم شهری به دو روش می‌توان طول سفرهای شهری را کاهش داد:

الف- با نزدیک‌تر کردن مقاصد به مبادی سفر که با افزایش تراکم، ترکیب کاربری‌ها، محدودسازی گستره فعالیت و نیز پیوستگی توسعه امکان‌پذیر می‌شود و در نهایت افراد برای دسترسی به فعالیت‌های مورد نظر جهت برطرف کردن نیازهای خود به جای انجام سفرهای طولانی به سفرهای کوتاه‌تر و در نزدیکی محل سکونت خود روی می‌آورند. این سفرها می‌تواند شامل سفرهای کاری، تحصیلی و خرید باشد که حجم قابل توجهی از سفرها را شامل می‌شود.

ب- با ایجاد مسیرها و معابر ارتباطی مستقیم بین مبادی و

مقاصد که با ایجاد تغییرات بر روی شبکه حمل و نقل شهری امکان‌پذیر است، هرگاه بین مبادی و مقاصد مسیرهای مستقیم وجود داشته باشد افراد با پیمودن طول سفر کوتاه‌تر به مقاصد مورد نظر خویش می‌رسند. این مقوله با افزایش دسترسی ارتباط تنگاتنگی دارد.

۲-تعریف مسأله و چارچوب تحقیق

یک موضوع مهم در ارتباط با کاهش طول سفرهای شهری مقدار حساسیت وضعیت ترافیک معابر نسبت به کاهش مسافت های طی شده از مبادی به مقاصد مختلف است. اعتقاد عمومی بر آن است که کاهش طول سفرها همواره منجر به کاهش حجم ترافیک و زمان سفر معابر می‌شود در حالی که ممکن است در برخی شرایط چنین نبوده و کارایی این اقدام در بازه‌های مختلف یکسان نباشد. هدف اصلی از این کار تحقیقاتی بررسی رابطه میان کاهش میانگین طول سفرها و تغییرات میانگین حجم ترافیک و زمان سفر معابر است.

برای دست‌یابی به اهداف تحقیق ابتدا مناطق شهرداری تهران و بخشی از شبکه معابر در رده‌های آزادراهی و شریانی به همراه یک ماتریس مبدأ- مقصد فرضی به عنوان محدوده مطالعه موردی در نظر گرفته خواهد شد. سپس بارگذاری شبکه با استفاده از نرم افزار تخصیص در شرایط پایه صورت خواهد گرفت. در مرحله بعد از طریق اعمال تغییر در ماتریس مبدأ - مقصد و کاهش میانگین طول سفرها مقدار تأثیرگذاری کاهش طول سفر بر حجم ترافیک معابرسنجیده خواهد شد و حساسیت آن نسبت به طول سفرها به دست خواهد آمد.

در این راستا مراحل زیر به ترتیب طی خواهد شد:

الف - حوزه‌بندی بر اساس مناطق شهرداری تهران و معرفی شبکه بزرگراه‌ها و خیابان‌های شریانی به نرم‌افزار

ب- تهیه ماتریس مبدأ- مقصد فرضی سفرها بین مناطق شهر تهران

ج- رسم نمودار فراوانی بر حسب طول سفرها

د- برازش منحنی برای به دست آوردن توزیع فراوانی بر حسب طول سفر

ه- تغییر در پارامترهای رابطه حاصل از بند(د) برای به دست آوردن ماتریس‌های مبدأ - مقصد جدید به نحوی که تعداد سفرها ثابت باشد ولی طول میانگین سفرها کاهش یابد.

و- تخصیص ترافیک ماتریس‌های به دست آمده از بند (ه) بر روی شبکه مورد نظر

ز- مقایسه میانگین نسبت حجم به ظرفیت و زمان سفر تخمینی به جریان آزاد معابر در حالات مختلف

۳- مرور سوابق

جولیانو و دارگی یک تحلیل مقایسه‌ای میان ایالات متحده و بریتانیا در زمینه رابطه میان سرانه مالکیت خودرو، طول سفرهای روزانه و ساختار شهری ارائه کردند. آن‌ها با استفاده از اطلاعات سفرهای روزانه در این کشورها و ارائه مدل‌هایی، میزان سرانه مالکیت خودرو و طول سفرهای شهری روزانه را تعیین کردند. آن‌ها همچنین به این نتیجه رسیدند که هزینه‌های بالای حمل و نقل در بریتانیا باعث ایجاد رفتارهای صرفه‌جویانه شده که موجب کاهش طول سفرهای روزانه و خریدهای محلی و استفاده از خدمات حمل و نقل عمومی‌شده است[۴].

سرورو و کوکلمن از اطلاعات سفرهای روزانه برای ۵۰ محله در منطقه سانفرانسیسکو استفاده کردند و چنین نتیجه گرفتند که فرم شهری در انتخاب وسیله و مسافت طی شده مؤثر است. کوکلمن این تحلیل را برای ۱۳۰۰ محله گسترش داد]۵[. پراکنش محل‌های مشاغل در مناطق حومه شهر باعث کاهش متوسط طول سفر می‌شود ولی در کل استفاده از وسیله نقلیه شخصی را افزایش می‌دهد. کرین و چاتمن نشان دادند که افزایش ۵٪ در پراکنش شغل‌ها در حومه یک ابرشهر باعث کاهش ۱/۵٪ در میانگین طول سفر می شود[۶]. دیویدسون در تحقیق دیگری نشان داد که نزدیکی اماکنی مانند بانک، مهدکودک، رستوران، سالن ورزشی و پست خانه به مراکز کاری می‌تواند متوسط سفربا اتومبیل شخصی در روزهای هفته را تا ۱۴ درصد کاهش دهد [۷].

تجمیع کاربری‌ها باعث کاهش طول سفرها و افزایش استفاده از سایرگونه های حمل و نقل می‌شود.. به طور کلی می توان گفت تجمیع به عنوان بخش مهمی از مدیریت دسترسی، توسعه جهت‌دار حمل و نقل ، شهرسازی نوین و رشد هوشمند فضاهای شهری باید به عنوان یکی از استراتژی‌های کلان مدیریت کاربری زمین انجام شود تا بتواند اثرات مثبتی در کاهش طول سفرهای شهری و در نتیجه کاهش استفاده از وسیله نقلیه شخصی داشته باشد[۸، ۹]. با این وجود یک بررسی نشان داد که ایجاد توازن میان سکونت/ اشتغال در نهایت باعث کاهش استفاده از وسیله نقلیه شخصی می‌شود، چرا که به هرحال ی از شاغلان ترجیح می‌دهند در نزدیکی محل‌های کار خود سکونت کنند، به علاوه نزدیکی مراکز تجاری و خدمات همگانی به این مناطق میزان سفرهای غیر ضروری روزانه را کاهش می‌دهد.[۱۰]

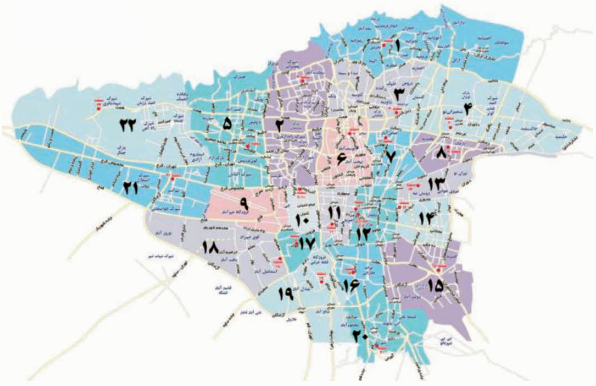
طراحی شبکه معابر می‌تواند از راه‌های مختلفی بر الگوی سفر مؤثر باشد. یک شبکه معابر متصل نسبت به شبکه معابر معمول سلسله مراتبی که بخش اعظمی از آن را مسیرهای بن بست تشکیل می‌دهد، دسترسی بهتری ایجاد می کند. شهرسازی نوین به استفاده از هر خیابان برای بالا بردن سطح دسترسی و کاهش تعداد مسافرت‌های لازم به هر مقصد تأکید دارد. طرفداران این نظریه معتقدند که این امر می‌تواند منجر به کاهش ترافیک حاصل از وسایل نقلیه موتوری شود. در یک تحقیق با مدل‌سازی ترافیک نتیجه‌گیری شد که با طراحی شبکه معابر متصل، میزان VMT نسبت به طراحی معمول سلسله مراتبی تا ۵۷٪ کاهش یافته است. [۱۱]

۴- اطلاعات اولیه

۴-۱- تعیین حوزه‌بندی و ماتریس مبدأ- مقصد

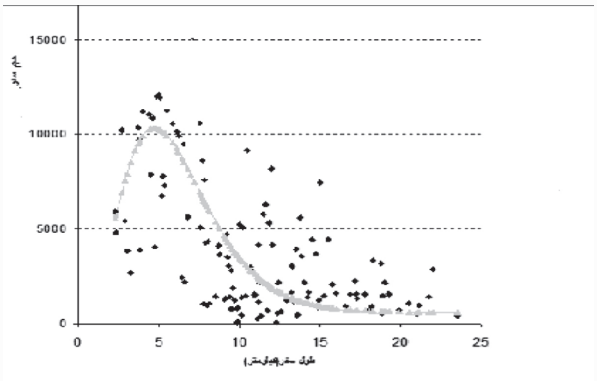
در این تحقیق برای مطالعه موردی از یک حوزه بندی فرضی منطبق بر مناطق شهرداری تهران مطابق شکل ۱ استفاده شده

است. همچنین یک ماتریس پایه فرضی ترافیک ساعت اوج برای بارگذاری شبکه در نظر گرفته شده است. شبکه مطالعاتی شامل معابر آزادراهی و بزرگراهی و شریانی شهر تهران بوده است.



شکل ۱ - حوزه بندی و شبکه معابر مطالعه موردی

به منظور کاهش میانگین طول سفر و ایجاد ماتریس‌های جدید، معادله‌ای بر اطلاعات فراوانی سفر در طول‌های مختلف مطابق شکل ۲ برازش داده شد تا با استفاده از رابطه حاصل، حجم سفرهای جدید به دست آید.



شکل ۲ - نمودار فراوانی سفر بر حسب طول سفر

برای به دست آوردن معادله‌ای که بیشترین انطباق را داشته باشد، برازش‌های غیرخطی با توابع مختلفی همچون لگاریتمی و نمایی و ... انجام شد و در نهایت برازش غیرخطی تابع گاما به فرم معادله زیر انتخاب گردید.

$$Y = 1598X^{3.3} \times Exp(0.7X) + 600$$ (رابطه ۱)

پس از برازش، به ازای هر طول سفر حجم‌های جدید محاسبه گردید. ماتریس‌های مبدأ - مقصد جدیدی که تهیه شد می‌بایست دو شرط زیر را برآورده سازند. لذا در پارامترهای تابع توزیع طول سفر مطابق شرط‌های زیر تغییراتی اعمال شد که دو هدف مورد نظر را تأمین کند:

۱- حجم سفرهای تولید شده ثابت باقی بماند. یعنی:

(رابطه ۲) ΣY(ثانویه) $= \Sigma Y$ (اولیه)

۲- طول سفر میانگین کاهش یابد:

(رابطه ۳)

$$\frac{\sum X.Y}{\sum Y}\text{.(ثانویه)} = k\frac{\sum X.Y}{\sum Y}\text{ (اولیه)}$$

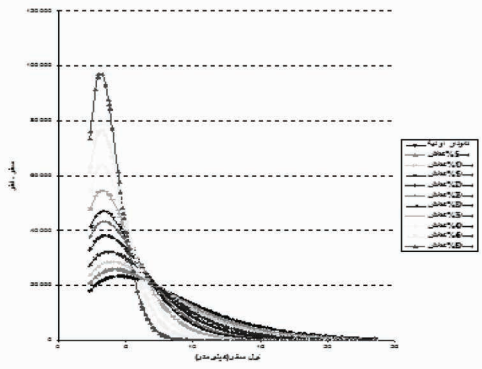
Y: حجم سفر (سفر- نفر)

X: طول سفر (فاصله مرکز ثقل مناطق بر حسب کیلومتر)

$\frac{\sum X.Y}{\sum Y}$: میانگین طول سفر

K: ضریب کاهش میانگین طول سفر

مقدار ضریب K در بازه ۰,۵-۱,۰ با گام های ۰,۰۵ در نظر گرفته شد که در نهایت با اعمال آن‌ها تعداد ده ماتریس مبدأ - مقصد به دست آمد.



شکل ۳ - نمودارهای فراوانی سفر ساخته شده برای میانگین طول سفر متفاوت

با تغییر پارامترهای تابع گاما نمودارهای فراوانی سفر بر حسب طول سفر با میانگین متفاوت مطابق شکل ۳ به دست آمده است. همان گونه که در این شکل مشاهده می‌شود باکاهش طول سفرها از مقادیر حجم سفرهای سمت راست منحنی (مربوط به سفرهای با طول زیاد) کاسته شده و به مقادیر سمت چپ نمودار (طول سفرهای کمتر) افزوده می‌شود تا در نهایت حجم سفرها ثابت بماند ولی میانگین طول سفر کاهش یابد.

در مرحله بعد این ماتریس‌ها توسط نرم‌افزار MINUTP برروی شبکه معابر شهر تهران به روش همه یا هیچ تخصیص داده شد و با استفاده از خروجی‌های نرم‌افزار، تحلیل حساسیت وضعیت ترافیک نسبت به طول سفرها انجام پذیرفت[۱۲].

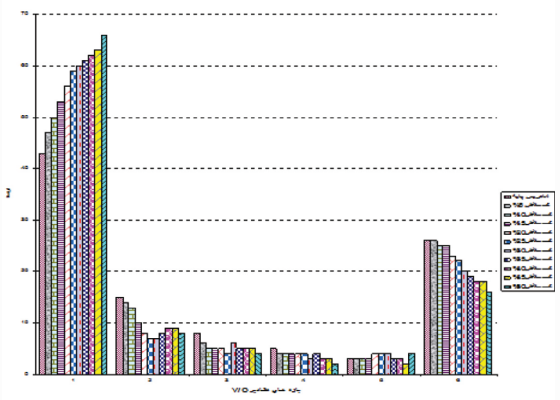
۵- تحلیل حساسیت وضعیت ترافیک نسبت به طول سفر

برای تحلیل حساسیت و مقایسه وضعیت معابر شبکه در حالات مورد نظر از دو پارامتر نسبت حجم به ظرفیت (V/C) و دیگری نسبت زمان سفر تخمینی به زمان سفر آزاد برای کل شبکه (t/t۰) استفاده شد که در اغلب تحلیل‌های شبکه معابر از آن‌ها استفاده می‌شود.

۵-۱- نسبت حجم به ظرفیت (V/C)

نسبت حجم به ظرفیت در معابر، ملاک مناسبی برای تعیین کیفیت حرکت وسایل نقلیه است. به کمک این شاخص کیفیت تردد وسایل نقلیه در معابر تحلیل می‌شود و کاهش میزان (V/C) به معنی افزایش سطح سرویس، بهبود وضعیت عبور و مرور و کاهش تراکم ترافیک تعبیر می‌شود.

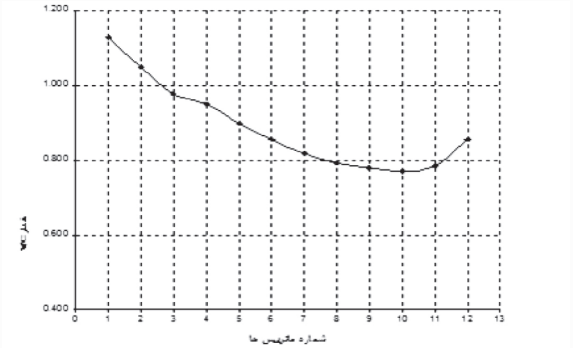
بر اساس خروجی‌های نرم‌افزار در حالات مورد نظر، درصد معابر دارای نسبت حجم به ظرفیت معین برای کل شبکه در شکل۴ نشان داده شده است. مطابق این شکل درصد پیوندهایی که نسبت حجم به ظرفیت آن‌ها دربازه ۰ تا ۰/۵ قرار می‌گیرند، روند کاملاً نزولی با کاهش میانگین طول سفر دارند. در پیوندهایی که نسبت حجم به ظرفیتی بین ۰/۵ تا ۰/۷۵ دارند یک نقطه مینیمم وجود دارد (کاهش ۳۰٪) و پس از آن شاهد افزایش درصد آن‌ها هستیم.



شکل۴ - نمودار میله‌ای تغییرات توزیع V/Cدر معابر برای میانگین طول سفر مختلف

شکل ۵ نشان‌دهنده تغییرات میانگین V/C در حالات مختلف است و به کمک نمودار فوق تحلیل حساسیت انجام می‌شود. همان گونه که از این نمودار مشخص است مقادیر V/C تا کاهش طول سفر به مقدار ۴۵٪ کاهش می‌یابند ولی بعد از کاهش ۵۰٪این شاخص افزایش یافته است. می‌توان نتیجه گرفت تا زمانی که طول سفر به میزان ۴۵٪ کاهش می‌یابد بهبود در تراکم ترافیک و سطح سرویس معابر ایجاد می‌شود ولی از آن به بعد کاهش طول سفر باعث افزایش تراکم ترافیک و کاهش سطح سرویس خواهد شد.

یکی از دلایل این امر آن است که اشخاص برای سفر به مناطق دورتر معابر شریانی اصلی را انتخاب می‌کنند و به نوعی ترافیک عبوری بین آن‌ها تقسیم می‌شود ولی با کاهش طول سفرها به علت نزدیکی مقاصد به مبادی، الگوی ترافیک تغییر کرده و افراد از معابر شریانی فرعی برای جا به جایی استفاده می‌کنند. لذا ترافیک زیادی به آن‌ها سرازیر می‌شود و در نتیجه افزایش نسبت حجم به ظرفیت و افزایش تراکم ترافیک را در پی خواهد داشت. بنابراین انتظار می‌رود در این شرایط افزایش زمان سفر و یا به عبارتی افزایش نسبت زمان سفر تخمینی به زمان سفر آزاد نیز روی دهد.



شکل ۵ - نمودار تغییرات میانگین V/C در میانگین طول سفر های مختلف

در جدول ۱ مقدار تغییر در نسبت حجم به ظرفیت به ازاء واحد کاهش طول میانگین سفر دربازه‌های ۵ درصدی و به عبارت دیگر کشش V/C نسبت به طول سفر ارائه شده است.

جدول ۱ - حساسیت V/C نسبت به کاهش میانگین طول سفر

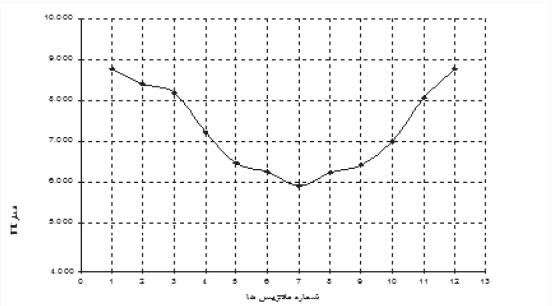
درصد کاهش طول سفر	۰-۵	۵-۱۰	۱۰-۱۵	۱۵-۲۰	۲۰-۲۵	۲۵-۳۰	۳۰-۳۵	۳۵-۴۰	۴۰-۴۵	۴۵-۵۰
درصد تغییر V/C	-۷	-۶/۷	-۲/۷	-۵/۴	-۴/۶	-۴/۴	-۳/۱	-۱/۵	-۱/۱	+۱/۸

همان گونه که در این جدول مشاهده می‌شود بیشترین مقدار نرخ کاهش مربوط به بازه‌های صفر تا ۵٪ و ۵٪ تا ۱۰٪ است و در بازه‌های بالاتر این نرخ کمتر می‌شود ولی در بازه ۴۵٪ تا ۵۰٪ شاهد افزایش نرخ و تغییرات نسبت حجم به ظرفیت هستیم.

۵-۲- نسبت زمان سفر تخمینی به زمان سفر آزاد (t/t_0)

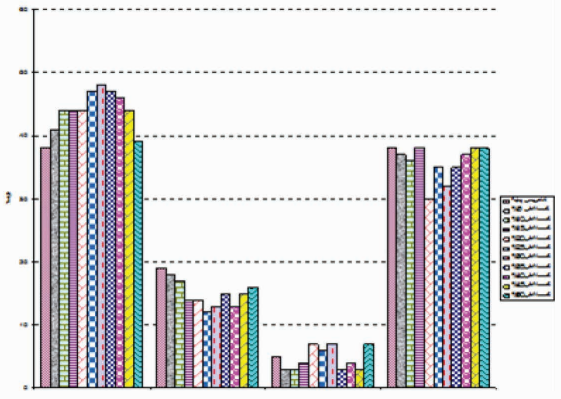
یکی از شاخص‌های عملکردی شبکه معابر در خروجی نرم‌افزار، نسبت زمان سفر تخمینی به زمان سفر تردد آزاد است. هر چه این نسبت بالاتر رود نشان‌دهنده افزایش تراکم ترافیک در یک پیوند و کاهش سرعت وسایل نقلیه عبوری از آن می‌باشد.

طبقه‌بندی کیفی خروجی‌ها بر حسب مقادیر (t/t_0) در بازه‌های ($1 < t/t_0 < 1/05$) دارای حرکت آزاد، ($1/05 < t/t_0 < 1/5$) دارای حرکت روان، ($1/5 < t/t_0 < 2$) دارای حرکت مناسب، ($t/t_0 > 2$) دارای حرکت کند و بحرانی است که در شکل ۶ نمودار میله‌ای این مقادیر در بازه‌های مورد نظر نشان داده شده است.



شکل ۶ - نمودار میله ای تغییرات توزیع t/t_0 در معابر برای میانگین طول سفر مختلف

در شکل ۷ نمودار تغییرات میانگین نسبت زمان سفر تخمینی به زمان سفر آزاد در بارگذاری‌های مختلف نشان داده شده است. همان گونه که مشاهده می‌شود این نسبت در ابتدا با کاهش میانگین طول سفر تا حدود ۳۰٪ نزولی است و پس از عبور از نقطه مینیمم صعودی می‌شود. علت این امر در تغییر الگوی سفرها به خاطر تغییر میانگین طول سفرهاست زیرا افراد برای دسترسی به کاربری‌های مورد نظر از معابر متفاوتی استفاده می‌کنند. در مسافت‌های طولانی تر معابر بزرگراهی و شریانی اصلی و در مسافت‌های کوتاه از شریانی‌های فرعی و راه‌های دسترسی استفاده می‌شود که برای هر الگو شاخص‌های متفاوتی به دست می‌آید.



شکل ۷ - نمودار تغییرات میانگین t/t_0 درمیانگین طول‌های سفر مختلف

۶- نتیجه گیری

در این کار تحقیقاتی سعی شده است شاخص‌های عملکردی ترافیک شبکه معابر تحت تقاضای سفر یکسان ولی با میانگین طول سفر متفاوت مورد بررسی قرار گیرد. نتایج بررسی‌ها نشان می‌دهد وضعیت ترافیک معابر با تغییر میانگین طول سفرها به صورت غیر یکنواخت تغییر می‌کند به این معنا که با کاهش طول سفرهای شهری تا یک حد معین (در مطالعه موردی ۴۵٪ کاهش طول) می‌توان انتظار تأثیر مثبت در کاهش حجم ترافیک عبوری معابر و در نتیجه تراکم ترافیک داشت ولی با کاهش بیشتر طول سفرها الگوی ترافیک تعبیر می‌کند و مقدار میانگین V/C افزایش می‌یابد که نامطلوب است.

بررسی تغییرات زمان سفر نیز حاکی از روند کما بیش مشابهی است. بدین معنا که در ابتدا با کاهش طول سفرها از میانگین زمان سفر کاسته می‌شود و پس از عبور از یک نقطه مینیمم (در مطالعه موردی ۳۰٪ کاهش طول) روند افزایشی را طی می‌کند. این پدیده نیز ناشی از تغییر الگوی تردد از معابر اصلی‌تر به فرعی‌تر است. البته این روند در عمل به معنای کاهش بار شبکه بزرگراهی نخواهد بود زیرا هم زمان پدیده‌هایی مانند ترافیک القایی و یا تقاضای پنهان باعث بازگشت وضعیت ترافیک معابر اصلی به حالت اولیه خواهد شد. دقیقاً به این دلیل است که چنین مطالعاتی صرفاً در محیط مجازی قابل بررسی می‌باشند.

مقایسه دو نمودار در شکل های ۵ و ۷ نشان دهنده تشابه کلی است اما نقطه مینیمم آن‌ها در درصدهای متفاوتی اتفاق می‌افتد. در مورد تغییرات حجم ترافیک نقطه تغییر جهت تأثیر در درصدهای بالاتر(در این جا ۴۵٪ و بیشترین حساسیت (اثربخشی) در درصدهای پایین کاهش طول است. اما در مورد شاخص زمان سفر نقطه حداقل در درصد کمتر (در اینجا ۳۰٪ و بیشترین اثربخشی در درصدهای بالاتر است. مقایسه این ارقام نشان می‌دهد که در بازه ۰-۳۰٪ کاهش طول سفرها تأثیرپذیری حجم و زمان سفر هم جهت و مثبت است. اما در بازه ۳۰-۴۵٪ کاهش میانگین طول سفرها،کاهش حجم معابر همراه با افزایش زمان سفر خواهد بود و در محدوده بالاتر از ۴۵٪ هر دو روند افزایشی را طی خواهند کرد.

بنابراین اگر کاهش طول سفر نتواند با کاهش استفاده از وسیله نقلیه شخصی همراه باشد کاهش میانگین طول سفرها بیش از حدی معین، تأثیری وارونه بر وضعیت ترافیک شبکه معابر خواهد گذاشت. این موضوع بالاخص در سیاست‌گزاری‌های تمرکززدایی سازمان‌ها و مؤسسات اداری، تجاری و خدماتی حائز اهمیت زیادی است.

۷- مراجع

۱ - دفتر حمل و نقل و دبیرخانه شورای عالی ترافیک شهرهای کشور،۱۳۸۶، راهنمای شناسایی و به کارگیری روش‌های مدیریت ترافیک.

۲ - شرکت مطالعات طرح جامع حمل ونقل و ترافیک تهران، ۱۳۸۵، مطالعات حمل و نقل طرح جامع تهران.

3- European Journal of Transport and Infrastructure Research, EJTIR. 2001, The Relationships between Urban Form and Travel Patterns. An International Review and Evaluation. 1, no. 2, pp. 113 – 141.

4- Transportation Research Part A; 2006, Car Ownership, Travel and Land Use: A Comparison of the US and Great Britain. 40, pp. 106–124.

5- Transportation Research Part D, 1997, Travel Demand and the 3Ds: Density, Diversity, and Design, Vol. 2, No. 3, pp. 199-219.

6- Planning and Markets, 2003, Traffic and Sprawl: Evidence from U.S. Commuting, 1985 To 1997, Volume 6, Issue 1.

7- Corporate Amenities, Trip Chaining and Transportation Demand Management, 1994, Diane Davidson, FTA-TTS-10, Federal Highway Administration (Washington DC).

8- Land Use and Site Design: Traveler Response to Transport System Changes, Chapter 15, 2003, Richard J. Kuzmyak and Richard H. Pratt, Transit Cooperative Research Program Report 95, Transportation Research Board.

9- Land Use Impacts on Transport: How Land Use Patterns Affect Travel Behavior, Todd Litman,2013, Victoria Transport Policy Institute

10- Jobs-Housing Balance, 2003, Jerry Weitz, PAS 516, American Planning Advisory Service, American Planning Association.

11- Planning for Street Connectivity: Getting From Here to There, 2004, Susan Handy, Robert G. Paterson and Kent Butler, Planning Advisory Service Report 515, American Planning Association.

12- MINUTP technical user manual, 1987, Mountain View, CA : Comsis Corp.