

اصلاح ضرایب همسنگ اتومبیل سواری در بزرگراه‌های درون شهری با ترافیک ناهمگن (مطالعه موردی تهران)

محمد علی یاری تبار^۱، مهشید میرزایی طایقانی^۲، محمد رضا کریمی‌هارونی^۳، علی علی یاری تبار^۴

۱- کارشناس ارشد راه و ترابری، دانشگاه آزاد اسلامی واحد علوم و تحقیقات

۲- دانشجوی کارشناسی ارشد برنامه ریزی حمل و نقل، دانشگاه آزاد اسلامی واحد علوم و تحقیقات

۳- کارشناس عمران

چکیده

با افزایش شهرنشینی، تکنولوژی حمل و نقل پیشرفت کرده و اقتصاد توسعه یافته است، به علاوه راه‌ها و بزرگراه‌ها، در تلاش برای متعادل ساختن ظرفیت راه‌ها و تقاضا ساخته شده‌اند. دانستن ظرفیت یک راه در برنامه ریزی، طراحی و بهره برداری از راه‌ها ضروری است. برای برآورد دقیق ظرفیت راه‌ها، ضرایب همسنگ اتومبیل سواری، برای ارائه مکانیزی که از طریق آن وسایل نقلیه به وسیله نقلیه مرجع تبدیل می‌شوند، مهم تلقی می‌شوند. این مقاله در مورد بزرگراه‌های درون شهری مانند شهر تهران، که درجه ناهمگنی در آن به طور قابل توجهی زیاد است، بحث می‌کند و بر پایه مجموعه داده‌های جمع آوری شده از ۸ بزرگراه در شهر تهران است و ضرایب همسنگ اتومبیل سواری را از ۴ روش مختلف موجود، ارائه می‌کند. در ادامه ضرایب همسنگ اتومبیل سواری به دست آمده با یکدیگر و با ضرایبی که در حال حاضر در مطالعات ترافیکی مختلف تهران استفاده می‌شوند، مقایسه شده‌اند. تفاوت‌های قابل توجهی میان مقادیر ضرایب همسنگ اتومبیل سواری بدست آمده از هر روش مشاهده شده است.

واژگان کلیدی: ترافیک ناهمگن، ضرایب همسنگ اتومبیل سواری، سر فاصله زمانی، سرعت، رگرسیون

۱. مقدمه

ترافیک‌های غیر خطی ناهمگن و شرایط ترافیک مختلط در کشورهای در حال توسعه انجام شده‌اند [۲].

لفظ “همسنگ اتومبیل سواری” در سال ۱۹۶۵ در ایالات متحده و در کتاب راهنمای ظرفیت بزرگراه^۱ معرفی شد و به عنوان تعداد اتومبیل‌های سواری جایگزین شده در جریان ترافیک با دیگر مدهای حمل و نقل تحت شرایط عمومی ترافیک و راه تعریف شده است. ضرایب همسنگ اتومبیل سواری^۲ معمولاً برای تبدیل ترافیک ناهمگن به جریان همگن استفاده می‌شوند، که در آن فرض بر این است که فقط اتومبیل‌ها سفر می‌کنند. ضرایب همسنگ اتومبیل سواری مفهوم مهمی در مبحث مهندسی ترافیک دارند، بطوریکه این ضرایب در

ترکیب ترافیک تقریباً در همه کشورهای در حال توسعه، با تنوع وسایل نقلیه موتوری و غیر موتوری که از یک راه مشترک استفاده می‌کنند، مختلف هستند [۱]. وسایل موتوری یا وسایل با حرکت سریع شامل اتومبیل‌های شخصی، تاکسی‌ها، موتور سیکلت‌ها، اتوبوس‌های قراردادی، مینی بوس‌ها، اتوبوس‌های بزرگ، وسایل باربری سبک، کامیون‌ها و تریلرها و وسایل نقلیه غیر موتوری شامل دوچرخه‌ها می‌باشد؛ از ۱۹۵۰، تحقیقات مهم و قابل توجهی برای گسترش مدل‌های جریان ترافیک و روش‌های تجزیه و تحلیل، به طور عمده برای ترافیک ناهمگن انجام شده، که شرایط ترافیکی مشاهده شده در کشورهای توسعه یافته را نشان می‌دهند. مقدار محدودی از مطالعات برای توسعه درک جریان ترافیک و تجزیه و تحلیل ظرفیت برای

1 Highway Capacity Manual

2 Passenger Car Equivalent

این وضعیت نشان می‌دهد که تعیین مقادیر ضرایب همسنگ اتومبیل سواری برای انواع مدهای حمل و نقل موجود در تهران در چند مفهوم علمی، که تمرکز این تحقیقات است، حیاتی است. بعلاوه این تحقیق اساس مقایسه برای ضرایب همسنگ اتومبیل سواری گسترش یافته برای دیگر کلان شهرها مشابه مانند شیراز، اصفهان و غیره را فراهم می‌کند. تاکنون روشهای متفاوتی بدین منظور ارائه شده است که یا بر مبنای شبیه سازی‌های ترافیکی بوده و یا نیازمند پایش بسیار دقیق و جزئی جریان ترافیک و وسایل نقلیه موجود در آن در شرایط مختلف می‌باشد. با توجه به هزینه‌های بسیار بالا و نیز زمان قابل توجه مورد نیاز در روش‌های ذکر شده، معمولاً از تعیین این ضرایب در مطالعات مختلف صورت گرفته در کشور در زمینه حمل و نقل و ترافیک صرف نظر شده و استفاده از تجربیات موجود در این خصوص، مبنا و ملاک عمل بوده است. آقای افندی زاده و همکاران در سال ۱۳۹۰ به ارائه یک روش برای محاسبه ضریب همسنگ در محورهای برون شهری پرداختند که در این مطالعه به عنوان یکی از نخستین مطالعات صورت گرفته در کشور در زمینه تعیین ضرایب همسنگ سواری، یک روش ساده به منظور تعیین مقدار عددی این ضرایب در محورهای جاده ای کشور پیشنهاد شده است که مبنا و اساس آن، مقایسه کلی پارامترهای تعیین کننده سطوح عملکرد معابر یعنی سرعت متوسط و چگالی در دو حالت جریان پایه و مختلط بوده و در آن با توجه به محدودیتهای موجود در جمع آوری اطلاعات مورد نیاز، تنها به تعیین ضریب همسنگ سواری در یک گروه کلی وسایل نقلیه سنگین پرداخته شده است. بر اساس نتایج این مطالعه، ضریب همسنگ وسایل نقلیه سنگین در جاده‌های برون شهری کشور در حدود ۲ برابر مقدار پیشنهادی آن در آیین نامه HCM بدست آمده است که نتیجه حاصل با توجه به فرسودگی ناوگان وسایل نقلیه سنگین در حال تردد در جاده‌های کشور و در نتیجه عدم هماهنگی آنها با عملکرد سایر وسایل نقلیه در حال تردد، چندان دور از ذهن نبوده و به خوبی بیانگر نقش بسیار مخرب آنها در جریان ترافیک محورهای برون شهری کشور می‌باشد [۸]. در سال ۱۳۹۱ آقایان امینی و شهرداد در مقاله‌ای با عنوان ارزیابی مقایسه ای ضرایب همسنگ سواری وسایل نقلیه سنگین در راه‌های دو خطه دو طرفه ایران بر اساس روشهای اختلاف سرعت و سرفاصله وسایل نقلیه پرداختند. هدف از این تحقیق، تعیین ضرایب همسنگ سواری وسایل نقلیه سنگین در راه‌های دو خطه دو طرفه ایران و ارزیابی مقایسه ای آنها بر اساس روشهای اختلاف سرعت و سرفاصله بوده است. در این راستا، گروه بندی خاص برای وسایل

بسیاری از روش‌ها و رویه‌های تجزیه و تحلیل ترافیک که با توجه به همگنی در شرایط ترافیک از قبیل تجزیه و تحلیل‌های ظرفیتی، تعیین نرخ جریان اشباع و مدل‌های جریان ترافیک توسعه یافته، استفاده می‌شوند. ضرایب همسنگ اتومبیل سواری از مشخصات مختلفی از جریان‌های ترافیک، از قبیل سر فاصله زمانی، سرعت و حجم همراه با مشخصات راه و وسایل نقلیه بدست می‌آید [۱۲]. همانطور که اشاره شد، ضرایب همسنگ اتومبیل سواری به پارامترهای جریان ترافیک وابسته هستند، این مقادیر به علت عوامل موثر بر پارامترهای جریان ترافیک، در معرض تغییر هستند. بنابراین، اتخاذ یک مجموعه ثابت از مقادیر همسنگ اتومبیل سواری، تحت شرایط ترافیکی و جاده‌ای مختلف، ممکن است دقیقاً درست نباشد. دلیل اصلی اینکه متخصصین، استانداردها را بر اساس منطقه گسترش دادند، همین موضوع می‌باشد.

ترافیک راه در بیشتر کشورهای در حال توسعه مانند ایران، شامل وسایل نقلیه‌ای است که در محدوده گسترده‌ای از ابعاد، وزن و مشخصات دینامیکی متفاوت هستند. همچنین وسایل نقلیه موتوری و غیر موتوری از یک فضای راه یکسان بدون هیچ تفکیکی سهم می‌برند. با توجه به تفاوت زیاد ابعاد فیزیکی و سرعت‌ها، ایجاد شرایط پیروی کردن از خطوط ترافیک توسط وسایل نقلیه دشوار می‌شود. در نتیجه، آنها تمایل به انتخاب هر موقعیت سود دهنده در راه بر اساس فضای در دسترس را دارند. مطالعاتی که برای جمع آوری داده‌های حجم ترافیک توسط شرکت‌های مشاور در زمینه ترافیک تهران انجام شده، در درجه اول بر ایجاد مسیرهای جدید و افزایش سهم حمل و نقل عمومی در سفرهای روزانه تمرکز دارد. طبیعت این مطالعه به طوری است که تمرکز اصلی اش بر مدهای حمل و نقل عمومی است و هیچ بحثی در مورد طبقه بندی مدها و مقادیر همسنگ اتومبیل سواری وجود ندارد. در جدول ۱ ضرایب همسنگ اتومبیل سواری استفاده شده در مطالعات ترافیکی تهران نشان داده شده است [۱۱].

جدول ۱. ضرایب همسنگ اتومبیل سواری استفاده شده در مطالعات ترافیکی تهران

کلاس وسایل	ضرایب همسنگ اتومبیل سواری
اتومبیل/وانت	۱/۰۰
موتور سیکلت	۰/۳۰
اتوبوس واحد	۵/۰۰
انواع تاکسی	۱/۵۰
مینی بوس	۲/۵۰
کامیون و تریلر	۲/۵۰

در کشورهای در حال توسعه مفید تر است ارائه شده است.

۲.۱. روشهای مبتنی بر سر فاصله زمانی

روشهای مبتنی بر سر فاصله زمانی بر اساس مفاهیمی هستند که اتومبیل‌های سواری که وسایل سنگین تر را دنبال می‌کنند، ممکن است سر فاصله زمانی‌های^۲ بالاتری در مقایسه با سر فاصله زمانی بین دو اتومبیل سواری متوالی در شرایط نرخ جریان اشباع را داشته باشند. نسبت این دو مقدار، ضریب همسنگ اتومبیل سواری را می‌دهد. این رویکرد معمولاً در مواردی که ضرایب همسنگ اتومبیل سواری برای تقاطع چراغدار تعیین می‌شود استفاده می‌شود [۵]. روشهای مبتنی بر سر فاصله زمانی بر دیگر روش‌ها ترجیح داده می‌شوند زیرا چنین مشخصات دینامیکی جریان ترافیک (مانند سر فاصله زمانی) که قادر به تشریح رفتار راننده، محیط اطراف راه، حجم ترافیک و ویژگی‌های سرعت از طریق یک پارامتر ثابت هستند استفاده می‌کنند [۶]. کارامس و کرولیو^۳ یک جریان ترافیک مختلط را تحلیل کردند و یک معادله را با توجه به تفاوت سر فاصله زمانی بین کامیون‌ها و دیگر وسایل، که می‌توانند در یک مقطع میان راه در یک قطعه از راه برای تخمین همسنگ اتومبیل سواری استفاده شوند گسترش دادند که با استفاده از معادله ۱ بدست می‌آید [۱۳]:

$$PCE = \frac{(1-p)(h_{px} + h_{xp} - h_{pp}) + ph_{xx}}{h_{pp}} \quad \text{معادله ۱}$$

که در آن:

p درصد کامیون‌ها در یک جریان ترافیک مختلط، h_{px} میانگین سر فاصله زمانی بر حسب ثانیه برای وسیله نقلیه x که اتومبیل سواری را دنبال می‌کند، h_{xp} میانگین سر فاصله زمانی بر حسب ثانیه برای اتومبیل سواری که وسیله نقلیه x را دنبال می‌کند، h_{pp} میانگین سر فاصله زمانی بر حسب ثانیه برای اتومبیل سواری که اتومبیل سواری را دنبال می‌کند و h_{xx} میانگین سر فاصله زمانی بر حسب ثانیه برای وسیله نقلیه x که وسیله نقلیه x را دنبال می‌کند.

کودون و اوگدن^۴ یک شرایط لازم و مناسب برای قابلیت اجرای روش نسبت سر فاصله زمانی برای محاسبه ضریب همسنگ اتومبیل سواری ارائه کردند [۱۳]. با استفاده از معادله ۲ این شرایط نشان داده شد، که به تاثیر یک نوع مشخص از وسیله نقلیه که مستقل از نوع وسیله‌ای که جلوتر از آن است یا آن را دنبال می‌کند دلالت می‌کند.

نقلیه پیشنهاد شده و ضریب همسنگ سواری به دوروش اختلاف سرعت و روش سر فاصله محاسبه و نتایج با یکدیگر مقایسه شده اند. مقایسه نتایج نشان می‌دهد که ضرایب به دست آمده از دو روش تا حد زیادی با یکدیگر همخوانی دارند. همچنین، جداول نشان می‌دهند که ضرایب همسنگ سواری در ایران از ضرایب پیشنهادی راهنمای ظرفیت را هها کمتر است و میزان این تفاوت با افزایش شیب بیشتر می‌شود [۳]. آقایان هاشمیان و رضایی در مقاله‌ای در سال ۱۳۹۳ به بررسی روشهای تعیین ضریب همسنگ سواری وسایل نقلیه پرداختند. در این پژوهش با مطالعه بررسی‌های پیشین انجام گرفته و در زمینه تعیین ضریب همسنگ وسایل نقلیه و بررسی تاریخچه‌ای از سیر تکاملی روشهای محاسبه همسنگ سواری برای وسایل نقلیه مختلف به مقایسه نسبی این روشها پرداخته و به نقاط قوت و ضعف هر کدام از آنها اشاره خواهد شد در آخر به مقایسه نتایج حاصل از چند نمونه از بررسی‌های انجام شده در کشور در این زمینه پرداخته اند [۱۴].

مقاله حاضر در چهار بخش تنظیم و ارائه شده است که در بخش اول مقدمه‌ای در مورد منطقه مورد مطالعه آورده شده است و در بخش دوم به توصیف روش‌های مورد استفاده برای تخمین ضرایب همسنگ اتومبیل سواری می‌پردازد. در بخش سوم ضرایب همسنگ اتومبیل سواری تخمین زده شده از روش‌های مختلف را ارائه می‌کند و با ضرایب همسنگ اتومبیل سواری بدست آمده مقایسه می‌کند و چهارمین بخش در مورد اهمیت و عواقب نتایج بدست آمده بحث می‌کند.

۲. روش‌های موجود برای تعیین ضرایب همسنگ اتومبیل سواری و داده‌های جمع آوری شده

در این بخش روش‌هایی که معمولاً در ادبیات حمل و نقل برای برآورد ضرایب همسنگ اتومبیل سواری استفاده شده است را برای انواع مدهای حمل و نقل در منطقه مورد مطالعه توصیف می‌کند. همانطور که قبلاً نشان داده شده، تمرکز این مطالعه برای برآورد این ضرایب برای بزرگراه‌های درون شهری است؛ بنابراین فقط روشهایی که برای این مناطق مناسب هستند مورد بحث قرار می‌گیرند. تیواری و همکاران^۱ گزارش دادند که روش‌های بسیاری برای تخمین همسنگ اتومبیل سواری وجود دارند، که در میان آنها روش سرفاصله، روش رگرسیون چندگانه، روش شبیه سازی متداول تر هستند [۴]. در بخش زیر چند روش که برای نمایش شرایط ترافیک ناهمگن بزرگراه‌های درون شهری

2 Headway

3 Krammes and Crowley

4 Cuddon and ogden

1 Tiwari et al

که در آن :

$h_{A(x-x)}$ سر فاصله زمانی میانگین تعدیل شده برای وسیله نقلیه x دنبال کننده وسیله نقلیه x

$$PCE_{X-vehicle} = \frac{h_{A(x-x)}}{h_{A(c-c)}} \quad \text{معادله ۶}$$

در این مقاله از هر دو این روش‌ها برای بدست آوردن ضریب همسنگ اتومبیل سواری از داده‌های جمع آوری شده برای بزرگراه‌های درون شهری تهران استفاده می‌شود.

۲.۲. روش مبتنی بر سرعت جریان ترافیک

روش‌های مبتنی بر سرعت جریان ترافیک برای تعیین کمیت تاثیر نوع خاصی از وسیله نقلیه در تغییر سرعت جریان ترافیک در مقایسه با اتومبیل‌های سواری ایجاد شده اند. روش‌های متعارف که در این رابطه شناخته می‌شوند مانند روش کاهش سرعت بیشتر برای محاسبه ضرایب همسنگ اتومبیل سواری که نسبت به اتومبیل‌های سواری سرعت کمتری دارند استفاده می‌شوند [۹]. این روش بر پایه رابطه زیر است:

$$PCE_{nmv} = 1 + \frac{S_b - S_m}{S_b} \quad \text{معادله ۷}$$

که در آن:

PCE_{nmv} ضریب همسنگ سواری برای وسایل غیر موتوری، S_b سرعت متوسط اتومبیل سواری در جریان پایه، S_m سرعت متوسط اتومبیل سواری در جریان مختلط است.

رحمان و ناکامورا^۲ از روش بالا برای تخمین مقادیر ضریب همسنگ اتومبیل سواری برای وسایل غیر موتوری در جریان ترافیک استفاده کردند [۹]. اطلاعات به روشی که دیگر انواع وسایل نقلیه (وسایل نقلیه جزء اتومبیل‌های سواری) که در جریان ترافیک وجود دارند جمع آوری شده است و فرض شده است که در کاهش سرعت اتومبیل‌های سواری، به علت حضور کم آن‌ها (کمتر از ۵ درصد) تاثیرات ناچیزی دارند. سرعت جریان ترافیک بر اساس معادله ۷، برای حجم‌های مختلف سناریوها، ضرایب همسنگ اتومبیل سواری را ارزیابی می‌کند. این روش دارای محدودیتی مانند جمع آوری مستقیم کاهش سرعت در اتومبیل‌های سواری در زمان حضور دیگر انواع خاص مدهای حمل و نقل است، که جمع آوری آن، مخصوصا برای فاکتورهای جریان ترافیک که درجه غیر متجانس بالاتری دارند غیر عملی است. اخیرا کاوا و همکارانش^۳ یک مدل متغیر برای تخمین ضریب همسنگ اتومبیل سواری بر اساس سرعت جریان ترافیک پیشنهاد دادند [۱]. آنها موتور سیکلت را به

$$h_{c-c} + h_{x-x} = h_{c-x} + h_{x-c} \quad \text{معادله ۲}$$

که در آن:

h_{x-x} ، h_{c-c} سر فاصله زمانی متوسط وسیله نقلیه که توسط یک وسیله نقلیه دنبال می‌شود و h_{x-c} ، h_{c-x} سر فاصله زمانی متوسط وسیله نقلیه x که توسط وسیله نقلیه x دنبال می‌شود.

علاوه بر این، ساها و همکاران^۱ برای یک سری داده‌های داده شده که در معادله ۲ صدق نمی‌کند، ضریب تصحیح زیر را پیشنهاد کردند که در معادله ۳ نشان داده شده است [۶].

$$C = \frac{abcd(w-x-y-z)}{abc+abd+acd+bcd} \quad \text{معادله ۳}$$

که در آن:

a تعداد سر فاصله زمانی برای اتومبیل سواری دنبال کننده اتومبیل سواری، b تعداد سر فاصله زمانی برای اتومبیل سواری دنبال کننده وسیله نقلیه x ، c تعداد سر فاصله زمانی برای وسیله نقلیه x دنبال کننده اتومبیل سواری، d تعداد سر فاصله زمانی برای وسیله نقلیه x دنبال کننده وسیله نقلیه x ، w میانگین سر فاصله زمانی برای اتومبیل سواری دنبال کننده اتومبیل سواری، x میانگین سر فاصله زمانی برای اتومبیل سواری دنبال کننده وسیله نقلیه x ، y میانگین سر فاصله زمانی برای وسیله نقلیه x دنبال کننده اتومبیل سواری، z میانگین سر فاصله زمانی برای وسیله نقلیه x دنبال کننده وسیله نقلیه x می‌باشد.

با استفاده از مقدار ضریب تصحیح C در معادله ۴ و ۵، میانگین سر فاصله زمانی تعدیل شده اتومبیل سواری دنبال کننده اتومبیل سواری و وسیله نقلیه x دنبال کننده وسیله نقلیه x به ترتیب بدست خواهد آمد. سر انجام ضریب همسنگ اتومبیل سواری با استفاده از سر فاصله زمانی تعدیل شده در معادله ۶ محاسبه می‌شود.

$$h_{A(c-c)} = U - \frac{C}{\text{No.of headway car following car}} \quad \text{معادله ۴}$$

که در آن :

$h_{A(c-c)}$ سر فاصله زمانی میانگین تعدیل شده برای اتومبیل سواری دنبال کننده اتومبیل سواری، U سر فاصله زمانی میانگین تصحیح نشده، C ضریب تصحیح است.

معادله ۵

$$h_{A(x-x)} = U - \frac{C}{\text{No.of headway X-vehicle following X-vehicle}}$$

2 Rahman and Nakamura

3 Cao et al

1 Saha et al

عنوان مد مرجع انتخاب کردند و از طریق فرمول ۸، ضرایب همسنگ اتومبیل سواری را بدست آوردند.

$$MCU_K = \frac{\bar{V}_{mc}}{\bar{V}_K} * \frac{\bar{S}_K}{\bar{S}_{mc}} \quad \text{معادله ۸}$$

که در آن:

MCU_K واحد معادل موتورسیکلت برای وسیله نقلیه نوع K ، \bar{V}_K, \bar{V}_{mc} میانگین سرعت موتور سیکلت‌ها و وسیله نقلیه نوع K (m/s)، \bar{S}_K, \bar{S}_{mc} میانگین فضای طراحی شده برای موتور سیکلت‌ها و وسیله نوع K (m^2).

معادله ۸ میانگین فضای طراحی شده را همراه با سرعت‌های انواع مختلف وسایل نقلیه ترکیب می‌کند. میانگین فضای موثر ترکیب شده با این مفهوم که اشغال فضای وسیله نقلیه تابعی از رفتار عملکردی نوع خاصی وسیله نقلیه در جریان ترافیک است. این روش برای ساختن ساده است و داده‌های مستقیم جمع آوری شده سرعت را می‌توان استفاده کرد.

۲,۳. روش مبتنی بر تحلیل رگرسیون چندگانه

روش‌های مبتنی بر تحلیل رگرسیون چندگانه در بسیاری مطالعات برای استخراج ضرایب همسنگ اتومبیل سواری استفاده می‌شوند. متغیرهای توضیحی همیشه تعداد نوع خاصی از وسایل نقلیه که در مطالعه ملاحظه شده است را نشان می‌دهند و این متغیرهای توضیحی برای تشریح متوسط سرعت ترافیک (برای بدست آوردن ضریب همسنگ اتومبیل سواری در میانه راه) یا نرخ جریان اشباع / زمان تاخیر (برای بدست آوردن ضریب همسنگ اتومبیل سواری در محل تقاطع) استفاده می‌شوند. مینها و سانوا^۱ یک معادله برای تخمین ضریب همسنگ اتومبیل سواری ارائه کردند که در معادله ۹ نشان داده شده است [۱۰]:

$$S = FFS + a_1 PC + a_2 Bus + a_3 MC + a_4 HV \quad \text{معادله ۹}$$

که در آن:

S متوسط سرعت جریان ترافیک، FFS سرعت جریان آزاد، PC تعداد اتومبیل‌های سواری در جریان ترافیک، Bus تعداد اتوبوس‌ها در جریان ترافیک، MC تعداد موتور سیکلت‌ها در جریان ترافیک، HV تعداد وسایل نقلیه سنگین در جریان ترافیک، a_1, a_2, a_3, a_4 اثر حاشیه‌ای مد مربوطه روی متوسط سرعت جریان ترافیک است.

بر پایه تخمین ضرایب ثابت در معادله بالا، ضرایب همسنگ اتومبیل سواری برای انواع مختلف وسایل نقلیه بدست می‌آید

که با تقسیم نرخ ضرایب ثابت بدست آمده برای نوع خاصی از وسیله نقلیه با ضرایب ثابت بدست آمده برای وسیله مرجع (به عنوان مثال اتومبیل سواری) بدست می‌آیند. که در معادله ۱۰ نشان داده شده است:

$$PCE = \frac{a_{air}}{a_1} \quad \text{معادله ۱۰}$$

روش مبتنی بر تحلیل رگرسیون چند گانه بر پایه این استدلال که سرعت معمولاً تابع خطی حجم نیست در ادبیات حمل و نقل مورد انتقاد قرار گرفته است. هرچند این روش می‌تواند برای محدوده سرعتی که رفتار خطی با حجم دارد استفاده شود [۱۰].

۲,۴. مشخصات داده جمع آوری شده

پارامترهای ترافیکی مختلف با ثبت جریان ترافیک توسط دوربین‌های ویدئویی مشاهده می‌شوند. در این تحقیق یک تصویر مناسب از الگوی ترافیک تهران ارائه شده است که در آن بزرگراه‌های درون شهری به روشی که راه‌های اصلی پوشش داده شوند، انتخاب شده است. محل میانی راه در بزرگراه درون شهری از جمله محدودیت‌های سختی بود که برای انتخاب سایت باید به آن توجه می‌شد زیرا باید از اثرات ناشی از فاکتورهای خارجی موثر بر فعل و انفعالات وسایل نقلیه (مانند تاثیر کنترل تقاطع‌ها (چراغ راهنمایی، جزئیات هندسی و تقاطع‌های عابر پیاده) اجتناب می‌شد. داده‌ها به شکل ویدئوهای ضبط شده از ۸ بزرگراه درون شهری در شهر تهران ذخیره شدند. این ویدئوها برای بدست آوردن اطلاعات با توجه به طبقه بندی حجم، سرفاصله زمانی و سرعت‌های نقطه‌ای پردازش شدند. پروسه‌های استخراج سرفاصله زمانی بر پایه رسم یک خط متقاطع (خط عمود بر جهت ترافیک) که بر روی کاغذ شفافی که روی صفحه نمایش مانیتور قرار گرفته، جریان ترافیک را نمایش می‌دهد و به وسیله کرنومتر، مدت زمان بین دو وسیله نقلیه متوالی بدست می‌آید که ترافیک از خط متقاطع عبور می‌کند. چهار نوع سرفاصله‌های زمانی برای یک نوع خاص از وسایل نقلیه استخراج شده اند، تا تخمین زدن PCE از روش‌های مبتنی بر سرفاصله زمانی که در بخش ۲,۱ توضیح داده شد را تسهیل کند. این پارامترها برای ۸ نوع مختلف از وسایل نقلیه در جدول ۲ آورده شده اند. به علاوه این، بررسی مشخصات فیزیکی وسایل نقلیه‌ای با بدست آوردن ابعاد فیزیکی نوع خودروها و ظرفیت وزنی قابل حمل آنها انجام شده است.

جدول ۲. انواع وسایل نقلیه به همراه خصوصیات آن‌ها

ردیف	نوع وسیله نقلیه	کلاس وسایل
۱	اتومبیل‌های کوچک	اتومبیل‌هایی با طول کمتر از ۳,۵ متر
۲	اتومبیل‌های بزرگ	اتومبیل‌هایی با طول بیش از ۳,۵ متر
۳	موتور سیکلت‌ها	با دو چرخ و همراه با قدرت موتور
۴	اتوبوس‌ها	مینی بوس‌ها و اتوبوس‌های واحد
۵	ون‌ها	ون‌های مسافری و آمبولانس‌ها
۶	پیکاپ و وانت‌ها	وسایل نقلیه با بار سبک
۷	وسایل نقلیه سنگین	کامیون و تریلر
۸	غیر موتوری	دوچرخه

جدول ۳. نتایج مدل رگرسیون بر پایه معادله ۱۰

پارامترهای مدل	ثابت	a_1	a_2	a_3	a_4	a_5	a_6	a_7	a_8
ضریب ثابت	۶۸/۲۵	-۰/۱۰۸	-۰/۱۷۱	-۰/۱۳	-۰/۳۷۲	-۰/۲۱۳	-۰/۱۳۴	-۰/۲۲۱	-۰/۲۳۸
آماره t	۲/۱۵۴	۲/۱۱۰	۱/۰۶۳	۲/۳۴۳	۸/۱۲۳	۱/۷۸۳	۲/۴۵۰	۱/۱۳۲	۳/۶۰۰
مقدار p	۰/۰۴۲	۰/۰۶۳	۰/۲۸۷	۰/۰۳۵	۰/۰۱۰	۰/۰۸۳	۰/۰۱۴	۰/۱۵۴	۰/۰۰۲

۳. ضرایب همسنگ اتومبیل سواری تخمین زده شده و آنالیز مقایسه‌ای

معنی دار است. به علاوه هدف از فرموله کردن، تخمین سرعت از طریق متغیرهای توضیحی نیست اما برای پیدا کردن تاثیرات وابسته به سرعت با توجه به معرفی نوع خاص وسیله در جریان ترافیک (ضرایب ثابت معادله رگرسیون) ضرایب همسنگ اتومبیل سواری بتوانند برقرار شوند. برای هر روش، نصف داده‌ها برای تخمین ضرایب همسنگ اتومبیل سواری استفاده شدند و نصف باقیمانده داده‌ها برای اعتبارسنجی نتایج استفاده شدند. پروسه انتخابی برای دیتای خاص، رندوم هستند. جدول ۴ ضرایب همسنگ اتومبیل سواری تخمینی را از ۴ روش با در نظر گرفتن خودرو کوچک به عنوان مد حمل و نقل مرجع ارائه شده است.

از جدول ۳ می‌تواند مشاهده شود که ضرایب همسنگ اتومبیل سواری تخمین زده شده از ۴ روش به یک اندازه قابل قبول و سازگار هستند. بعلاوه، با انجام اعتبار سنجی، مشخص شد که دو سری دیتا که از طریق فرایند تصادفی تفکیک شده بودند، قادر به تکرار کردن نتایج هستند، که بدیهی هست از مقادیر مجذور خطای میانگین پایه^۱ کمتر است. علاوه بر این، مقادیر بدست آمده مبتنی بر معادله ۶ کمتر از ضرایب همسنگ اتومبیل سواری بدست آمده مبتنی بر معادله ۱ است. مقادیر مشاهده شده از روش سرعت برای وسایل با ابعاد بزرگ (گروه ۴، ۵، ۷، ۸) در مقایسه با مشاهدات از روش سر فاصله زمانی بالاتر هستند. علاوه بر این، ضرایب همسنگ اتومبیل

این قسمت نتایج بدست آمده با استفاده روش‌های مختلف، که در قسمت‌های قبل توضیح داده شد را گزارش می‌دهد. هر دو روش مبتنی بر سر فاصله زمانی، اطلاعاتی در قالب سر فاصله زمانی مبتنی بر نوع وسیله نقلیه نیاز دارند و به همین دلیل است که اطلاعات مربوط به سر فاصله زمانی به این حالت پردازش شده است. میانگین مقدار این سر فاصله زمانی بر اساس نوع وسیله نقلیه برای تخمین ضرایب همسنگ اتومبیل سواری استفاده شده است. روش سرعت به میانگین سرعت وسایل در جریان ترافیک به نوع وسیله نقلیه خاص نیاز داشت، نوع وسیله نقلیه بدست آمده از طریق بررسی‌های اضافی که ابعاد وسیله نقلیه را در نظر گرفته را فراهم می‌کرد. روش رگرسیون بر پایه تخمین ضرایب ثابت الصاق شده به پارامترهایی است که به نمایندگی از تعداد وسایلی که در یک نوع وسیله نقلیه خاص در جریان ترافیک گروه بندی شده اند می‌باشد. جدول ۳ خروجی آنالیز رگرسیون خطی را ارائه می‌کند. مقدار R-Square برای مدل حدود ۰/۶۲۵ به دست آمده است، که نشان می‌دهد که ۰/۳۵ تغییر در داده‌ها در میان متغیرهای ترکیب شده قابل توجه نیست. هرچند، باید توجه داشت که در مورد ماهیت تحمیل شده معادله ۱۰، (سرعت تنها تابعی از حجم کلاس‌های وسایل مختلف است)، این مقدار R-Square

1 Root Mean Square Error

ضرایب همسنگ اتومبیل سواری خودرو بزرگ، خودرو کوچک و وانت خیلی به یکدیگر نزدیک هستند (که تفاوت آنها کمتر از ۱۰٪ در مقایسه با خودرو کوچک است) و دلالت بر این دارد که این نوع وسایل مشابه با همدیگر رفتار می‌کنند. در این ملاحظه، ضرایب همسنگ اتومبیل سواری بر پایه معادله ۱، تحت روش سر فاصله زمانی نسبت به مشاهدات در معادله ۶ بیشتر به هم نزدیک به نظر می‌رسند. بنابراین، در رابطه با سازگاری و معقول بودن نتایج، ضرایب همسنگ اتومبیل سواری مشاهده شده از روش سر فاصله زمانی (معادله ۱) و روش سرعت مناسب تر هستند.

مقایسه ضرایب همسنگ اتومبیل سواری مشاهده شده از روش سرعت و روش سر فاصله زمانی (معادله ۱) مشخص کرد که مقادیر بدست آمده از روش سرعت نسبتاً کمتر هستند به جز برای مینی بوس و اتوبوس‌ها، ون‌ها، وسایل نقلیه سنگین و وسایل غیر موتوری. یک مفهوم مهم در مورد اینکه روش

سواری از این روش مناسب تر به نظر می‌رسند و همچنین قادر هستند تاثیر ظرفیت را در مقادیر همسنگ اتومبیل سواری ارائه کنند (وسایل بزرگتر به فضای راه بیشتر نیاز دارند و بنابراین ظرفیت راه را برای وسایل دیگر کاهش می‌یابد). مقادیر مجذور خطای میانگین پایه برای این روش نیز مناسب است. مقادیر مشاهده شده از روش رگرسیون اندکی متناقض هستند. بعلاوه، مقادیر کم ضرایب همسنگ اتومبیل سواری برای وسایل سنگین در مقایسه با گروه اتوبوس‌ها نیز یک موضوع قابل توجه است. این روند مطابق با تعاریف همسنگ اتومبیل سواری مناسب نیست. علاوه بر این، آماره t بسیاری از پارامترهای ثابت بالاتر از ۰/۰۵ مشاهده شوند، که تناقض را در مدل رگرسیون تخمینی نشان می‌دهد. روش سر فاصله زمانی مبتنی بر معادله ۶ مقادیر ضرایب همسنگ اتومبیل سواری را به طور قابل توجهی نزدیک به خودروهای کوچک (وسیله مرجع) تخمین می‌زند. برای مثال

جدول ۴. ضرایب هم ارز اتومبیل سواری تخمین زده شده از چهار روش (خودرو کوچک به عنوان وسیله نقلیه مرجع)

روش‌های تخمین ضرایب هم ارز اتومبیل سواری				نوع وسیله نقلیه	ردیف
رگرسیون معادله ۱۰	سرعت معادله ۸	سر فاصله زمانی معادله ۶	معادله ۱		
۱	۱	۱	۱	خودروهای کوچک	۱
۱/۸	۱/۲۲	۱/۱۲	۱/۲۵	خودروهای بزرگ	۲
۰/۳۶	۰/۴۶	۰/۵۲	۰/۵۹	موتورسیکلت‌ها	۳
۳/۷۱	۳/۲۴	۲/۰۲	۲/۰۸	مینی بوس و اتوبوس‌ها	۴
۲/۵۱	۲/۸۹	۱/۳۳	۱/۵۶	ون‌ها	۵
۱/۸۲	۱/۴۵	۱/۴۳	۱/۵۶	وانت	۶
۳/۵۶	۳/۲۰	۲/۰۱	۲/۰۱	وسایل نقلیه سنگین	۷
۱/۰	۰/۹	۰/۷	۰/۵	وسایل غیر موتوری	۸
۱/۶۸۵	۰/۰۳۴	۰/۰۲۶	۰/۰۵۲	مقادیر مجذور خطای میانگین پایه	

جدول ۵. ضرایب همسنگ اتومبیل سواری از مطالعات مختلف

روش‌های تخمین ضرایب هم ارز اتومبیل سواری				نوع وسیله نقلیه	ردیف
مطالعات تهران	کارامس و کرولیو	تیواری و همکاران	مینها و سانو		
۱	۱	۱	۱	خودروهای کوچک	۱
-	-	-	-	خودروهای بزرگ	۲
۰/۳	۰/۳	۰/۴	۰/۲۹	موتورسیکلت‌ها	۳
۵-۲/۵	۲/۱	۲	۲/۲۶	مینی بوس و اتوبوس‌ها	۴
۱	-	-	-	ون‌ها	۵
۱	-	-	-	وانت	۶
۲/۵	۳/۱	۲/۴	-	وسایل نقلیه سنگین	۷
-	۱/۳	۲/۸	-	وسایل غیر موتوری	۸

استفاده می‌کنیم؟ این مطالعه پیشنهاد می‌کند که تحقیقات بیشتری برای بررسی رفتار انواع مختلف وسایل نقلیه برای برآورد مقادیر مناسب ضرایب همسنگ اتومبیل سواری لازم است.

۵. مراجع

1- Arasan, V. T., Koshy, R.Z., Methodology for modelling highly heterogeneous traffic flow, Journal of Transportation Engineering, ASCE, Vol 131, 7, pp.: 544-553. 2005.

2- Cao NY., Sano K., Tu VT. and Anh NV.. Estimating Capacity and Vehicle Equivalent Unit by Motorcycles at Road Segments in Urban Road in Hanoi Veitnam, Journal of Transportation Engineering, 138(6), pp:776-785.2010.

۳- امینی، بهنام و شروین شهراد، ۱۳۹۱، ارزیابی مقایسه‌های ضرایب همسنگ سواری وسایل نقلیه سنگین در راه‌های دو خطه دو طرفه ایران بر اساس روش‌های اختلاف سرعت و سرفاصله وسایل نقلیه، پژوهشنامه حمل و نقل ۹ (۴).

4- Tiwari G., Fazio J. and Pavitravas S. "Passenger Car Units for Heterogeneous Traffic Using a Modified Density Method", Transportation Research Circular E-C018: 4th International Symposium on Highway Capacity. Maui, Hawaii, USA.2000.

5- Marwah, B. R., and Singh, B., "Discharge characteristics of heterogeneous traffic at signalized intersections", Transportation Research Circular E-C018: 4th International Symposium on Highway capacity, Maui, Hawaii, pp. 258-270. 2000.

6- Saha P., Hossain Q.S., Mahmud, H.M.I, Islam, M. Z. Passenger Car Equivalent (PCE) of through vehicles at Signalized Intersections in Dhaka Metropolitan City, Bangladesh, IATSS Research , 33 (2). 2009.

7- Krammes R., and Crowley K. Passenger Car Equivalents for Trucks on Level Freeway Segments, Transportation Research Record -Journal of Transportation Research Board, 1091, pp.10-17. 1986.

۸- افندی زاده، شهریار؛ مجید رضا نصراله نژاد و محمد پور تیموری، ۱۳۹۱، ارزیابی یک روش برای محاسبه ضریب همسنگ در محورهای برون شهری، یازدهمین کنفرانس مهندسی حمل و نقل و ترافیک ایران، تهران، سازمان حمل و

سرعت برتر است، پیوستگی مشخصات استاتیکی و دینامیکی انواع وسایل است؛ از طرف دیگر روش‌های سرفاصله زمانی تنها بر پایه مشخصات دینامیکی وسایل نقلیه هستند.

جدول ۵ نشان می‌دهد که ضرایب همسنگ اتومبیل سواری تخمین زده شده در این مطالعه، با مطالعات پیشین گزارش شده اخیر در کشورهای در حال توسعه سازگار هستند. ضرایب همسنگ اتومبیل سواری برای موتورسیکلت‌ها در مطالعات کشورهای دیگر در مقایسه با آنچه در تهران دنبال شد بالاتر هستند. ویژگی‌های خاص ضرایب همسنگ اتومبیل سواری گزارش شده در این مطالعه این است که این مطالعه دو دسته از خودروها را ملاحظه کرد؛ هرچند در مطالعات گذشته، خودرو سواری نماینده تنها یک گروه است که مرجع نامیده شده است. بنابراین مقایسه مستقیم ممکن است در این ملاحظات سوال برانگیز باشد. جدول ۵ ایده خوبی از سازگاری ضرایب همسنگ اتومبیل سواری گزارش شده در این مطالعه در مقایسه با مطالعات اخیر در دیگر کشورهای مشابه که دارای ترافیک ناهمگنی است ارائه می‌دهد.

نتایج گزارش شده در این مقاله پیشنهاد می‌کند که مطالعات آینده با توجه به رفتار مناسب انواع وسایل مختلف که در یک راه شریانی در تهران حرکت می‌کنند، نیاز است انجام شوند. در این روش‌های ملاحظه شده که بر پایه مدل‌های شبیه سازی میکرو، ممکن است نتایج مناسبی از طریق این روش بدست آورند. ضرایب همسنگ اتومبیل سواری دینامیک (ضرایب همسنگ اتومبیل سواری که تابع ترکیب ترافیک و حجم هستند) ممکن است به دست بیایند، که ممکن است اعداد مناسب در شرایط ناهمگن، پیچیده باشد.

۴. نتیجه گیری

در این مطالعه ضرایب همسنگ اتومبیل سواری برای محیط ترافیک ناهمگن در بزرگراه‌های درون شهری شهر تهران برآورد شده است. چهار روش استفاده شدند که بر پایه مفاهیم مختلفی هستند و به داده‌های مختلفی مربوط به جریان ترافیک و وسیله نقلیه نیاز دارند. نتایج ارائه شده پذیرفتنی و قابل شرح می‌باشند؛ هرچند تفاوت‌های قابل توجهی برای مقادیر اندازه گیری و مقایسه شده برای چهار روش و آنچه که در تهران است وجود دارد و به این نتیجه می‌رسیم که روشی که سرعت وسایل را با منطقه مورد مطالعه تبدیل می‌کند، تخمین مقادیر همسنگ اتومبیل سواری مناسبی را فراهم می‌کند که یک سوال قابل توجهی به وجود می‌آید که آیا ما اعداد درستی برای مقادیر همسنگ اتومبیل سواری در مطالعات ترافیکی تهران

- 12- Ahmed U. Passenger Car Equivalent Factors for Level Freeway Segments Operating under Moderate and Congested Conditions, Master's Thesis; Marquette University. 2009.
- 13- Cuddon, A.P. and Ogden, K.W., "The effect of heavy vehicles on saturation flows at signalized intersections". Proceedings of the 16th ARRB Conference, Perth, Australia, November 9-13, 16(5). pp. 1-18. 1992.
- ۱۴- هاشمیان، فرزاد و محمدامین رضایی، ۱۳۹۳، بررسی روش‌های تعیین ضریب همسنگ سواری وسایل نقلیه، همایش ملی مهندسی عمران، معماری و مدیریت پایدار شهری، گرگان، سازمان ملی استاندارد استان گلستان
- 9- Rehman M.M., and Nakamura F., Measuring Passenger Car Equivalents for Nonmotorized Vehicle (Rickshaws) at Mid-Block Sections, Journal of the Eastern Asia Society for Transportation Studies, 6, pp: 119 – 126. 2005.
- 10- Minh C. C., Sano K., Analysis of Motorcycle Effects To Saturation Flow Rate At Signalized Intersection In Developing Countries, Journal of the Eastern Asia Society for Transportation Studies, 5 pp: 120-128. 2003.
- ۱۱- آمار و اطلاعات حمل و نقل شهری تهران، سازمان حمل و نقل و ترافیک شهرداری تهران، ۱۳۹۲.

Modified coefficients of Passenger Car Equivalent on urban highways with heterogeneous traffic (Case Study of Tehran)

Mohammad Ali Yari Tabar¹, Mahshid Mirzaei Taighani², Mohammad Reza Karimi Harooni³, Ali Ali Yari Tabar³

1- M.Sc. graduate, Islamic Azad University, Science and Research Branch

2- M.Sc. Student, Islamic Azad University, Science and Research Branch

3- Civil Engineering

Abstract

With increasing urbanization, transportation technology has progressed and developed economy. In addition, roads and highways, have made in an effort to balance road capacity and demand. Knowing the capacity of a road is necessary in the planning, design and operation of roads. For an accurate estimate of the roads capacity, passenger car equivalent coefficients, are essential to provide a mechanism through which the vehicles are converted into reference vehicles. This paper discusses about urban highways, such as Tehran, which is significantly high degree of heterogeneity, and based on collected data from 8 highway in Tehran, presents passenger car equivalent factors from four different existing methods. In the following, obtained passenger car equivalent factors are compared with each other and with factors that are currently used in different traffic studies of Tehran. Significant differences are observed among obtained passenger car equivalent factors from each method.

Keywords: Heterogeneous traffic, Passenger Car Equivalent Coefficient, Headway, Speed, Regression