تحلیل شاخص‌های موثر و تعیین ضریب همسنگ‌سواری وسایل نقلیه مختلف در جاده‌های اصلی ایران

مقاله علمی – پژوهشی

شهریار افندی زاده*، استاد، دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه علم و صنعت ایران، تهران، ایران
کیومرث محمدی، دانشجوی کارشناسی ارشد، دانشگاه آزاد اسلامی واحد علوم و تحقیقات، تهران، ایران
حمید بیگدلی راد، دانشجوی دکتری، دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه علم و صنعت ایران، تهران، ایران
*پست الکترونیکی نویسنده مسئول: zargari@iust.ac.ir

دریافت: ۱۴۰۲/۰۸/۲۲– پذیرش: ۱۴۰۳/۰۱/۲۵
صفحه ۵۲-۲۵

چکیده

میلیون‌ها اتومبیل در سطح جاده‌های دنیا درحرکت‌اند و هر ساله میلیاردها دلار برای تأمین نیاز حمل‌ونقل به‌عنوان اصلی‌ترین شریان اقتصادی جهان امروز هزینه می‌شود. ظرفیت راه یکی از مهمترین پارامترها در طراحی و بهره برداری از راه‌ها محسوب می‌شود. یک از عوامل موثر بر تعیین ظرفیت راه‌ها درصد حضور وسایل نقلیه سنگین است که باعث تغیرات شدیدی در تعیین ظرفیت و سطح سرویس راه‌ها بخصوص جاده‌های دوطرفه دارد. به منظور اعمال تأثیر این قبیل وسایل نقلیه از مفهوم همسنگ سواری استفاده می‌شود. دراین پژوهش با استفاده از روش‌های سرفاصله و روش اختلاف سرعت شاخص‌های مؤثر بر ضریب همسنگ سواری و همچنین تعیین ضریب همسنگ‌سواری وسایل نقلیه مختلف در جاده‌های اصلی کشور مورد بررسی قرار می‌گیرد و ضرایب به دست آمده با ضرایب آیین‌نامه HCM مقایسه می‌شوند. مقایسه ضرایب به دست آمده از دو روش نشان می‌دهد اگرچه که اختلاف میان این ضرایب تنها در شیب‌ها و حجم‌های بالا مشاهده می‌شود و این اختلاف عمدتاً محدود به یک یا دو وسیله نقلیه سنگین می باشد اما به دلیل تفاوت در ناوگان حمل و نقل ایران و کیفیت جاده‌های ایران، امکان مقایسه‌ی مستقیم این ضرایب وجود ندارد و می‌بایست این ضرایب قبل از مقایسه کالیبره شوند.

واژه‌های کلیدی: ضریب همسنگ‌سواری، حمل و نقل، جاده اصلی، آیین‌نامه ظرفیت راه

۱- مقدمه

وجود تنوع در خصوصیات اصلی و عملکردی وسایل نقلیه سنگین اعم از باری و مسافری، لزوم گروه بندی وسایل نقلیه سنگین را روشن می سازد این گروه بندی باید به شکلی باشد که وسایل نقلیه سنگینی که در یک گروه قرار دارند با توجه به طول و محدویت‌های عملکردی بازدارنگی یکسانی در جریان ترافیک ایجاد کنند (Afandizadeh and Bigdeli Rad, 2021). هر اندازه که جزییات بیشتری در این گروه‌بندی نمایان شود تعداد گروه‌ها بیشتر می‌شود و همچنین اطلاعات مورد نیاز و هزینه افزایش می‌یابد، بنابراین لازم است با ایجاد یک تعادل مناسب و قابل حجم قبول، یک گروه‌بندی مناسب برای انواع وسایل نقلیه معرفی نمود (Ameri et al., 2021). آیین نامه ظرفیت راه‌ها در نگارش‌های پیشین وسایل نقلیه را در چهار گروه سواری اتوبوس، کامیون و وسایل نقلیه تفریحی تقسیم می‌نماید. این گروه بندی در HCM ۲۰۰۰ تغییر کرد و کامیون و اتوبوس در

یک گروه تحت عنوان «کامیون‌ها قرار گرفتند. نگارش سال ۲۰۱۰ این آیین نامه نیز از همین گروه بندی استفاده شده است. در ادامه، چند نمونه از گروه بندی‌های وسایل نقلیه در چند کشور خارجی و سپس در مطالعات متفاوت در کشور ایران معرفی می‌گردد. در بانکوک وسایل نقلیه بر اساس طول وسایل نقلیه به ۵ گروه تقسیم می‌شوند. کلاس A برای موتورسیکلت، کلاس B برای وسایل نقلیه سواری ، وانت و مینی بوس، کلاس C برای اتوبوس، کامیون‌های متوسط و سنگین، کلاس D برای تریلرهای کوچک و کلاس E برای تریلرهای بزرگ در نظر گرفته شدند.

در کشور بنگلادش نیز برپایه مطالعاتی که در سال ۲۰۰۰ انجام شد وسایل نقلیه به ۱۰ گروه تقسیم شدند. با وجود اینکه وسایل نقلیه در گروه‌های متفاوت تقسیم‌بندی شده اند اما ممکن است ضرایب همسنگ برابر داشته باشند (Sharma and Biswas, 2021). در کشور هند مطالعاتی برای محاسبه ضرایب همسنگ سواری در جریان ترافیک مختلط انجام شد. در این مطالعات میزان سرعت متوسط برای هر یک از گروه‌ها با استفاده از اندازه‌گیری میدانی حاصل شد. شاخص‌های اصلی که جهت گروه‌بندی وسایل‌نقلیه به کار می‌روند عموماً عبارتند از: طول، ابعاد، نرخ وزن به توان محدودیت‌های سرعت و شتاب و قابلیت مانور وسیله‌نقلیه (Macioszek, 2019). بررسی مطالعات پیشین نشان می‌دهد که در این میان طول وسایل نقلیه سنگین بیشتر مورد توجه قرار گرفته است. سادگی اندازه‌گیری از مهم‌ترین دلایل انتخاب این شاخص در مطالعات مختلف می‌باشد. از طرف دیگر تأثیر مستقیم پارامتر طول در انتخاب فاصله مناسب در ترافیک جهت مقابل برای سبقت و انجام کامل یک عمل سبقت از دیگر دلایل این انتخاب است (Afandizadeh Zargari et al., 2019). همانطور که پیشتر نیز اشاره شد انتخاب عوامل دیگر در گروه بندی باعث نیل به نتایج دقیق‌تر و افزایش هزینه مطالعات خواهد شد. سازمان راهداری و حمل و نقل جاده‌ای نیز در سال ۱۳۸۱ یک سری ضریب همسنگ‌سواری برای استفاده در جاده‌های کشور پیشنهاد کرد. پژوهشکده حمل و نقل وزارت راه و ترابری در سال ۸۴ با توجه به اینکه برخی گروه‌های وسایل نقلیه سهمی کمتر از یک درصد در جریان ترافیک دارند و همچنین بر اساس مشخصات عمل کردی هر یک از گروه‌ها در جریان ترافیک با استفاده از اطلاعات، میدانی گروه‌بندی وسایل‌نقلیه در کشور ایران پیشنهاد نمود (Mirzahossein et al., 2021). همانطور که گفته شد گروه‌بندی وسایل‌نقلیه باید میان دقت در مطالعات و صرف زمان و هزینه تعادل برقرار کند، به این منظور در این مطالعات دو گروه‌بندی مجزا برای وسایل نقلیه در نظر گرفته شده است. در گروه‌بندی اول وسایل نقلیه به صورت کلی در سه گروه وسایل نقلیه سبک، وسایل نقلیه سنگین یک قسمتی و وسایل نقلیه سنگین دو قسمتی ترکیب کشنده و (تریلر) تقسیم می‌شوند. این تقسیم‌بندی با توجه به عملکرد وسایل نقلیه طول و تاثیری که این وسایل بر میزان تاخیر و زمان سفر و سرعت وسایل نقلیه سبک دارند، انجام گرفته است. از طرفی گروه بندی جدول ٦ در حال حاضر برای شمارش وسایل نقلیه عبوری از جاده‌های برون شهری کشور مورد استفاده قرار می‌گیرد همانطور که پیشتر نیز اشاره شد، آمار موجود در پایگاه اینترنتی سازمان راهداری حمل و نقل جاده‌ای کشور نیز بر پایه‌ی این گروه‌بندی قرار دارد. از این رو، در این مطالعه نیز وسایل نقلیه در این ۵ گروه طبقه‌بندی می‌شود بنابراین نتایج به دست آمده در این نوع گروه‌بندی می‌توان برای مطالعات آتی این سازمان سودمند باشد. آمار برداری تجزیه تحلیل و استخراج ضرایب همسنگ‌سواری بر مبنای هر دو گروه‌بندی پیشنهادی صورت می‌گیرد.

۱-۲-همسنگ‌سواری در سایر کشورها

آیین‌نامه ظرفیت راه‌های کشور آلمان برای اولین بار در سال ۱۹۹٦ برای استفاده بهینه از تئوری‌های مهندسی ترافیک منتشر شد. این آیین‌نامه در راه‌های دوخطه، برای وسایل نقلیه سنگین، معادل سواری تعریف نمی‌کند. در عوض در ترسیم نمودارهای سرعت – جریان در قوس‌های افقی با شعاع‌های متفاوت اثر درصد حضور وسایل نقلیه سنگین (صفرتا ۲۰ درصد) در نظر گرفته می‌شود. در این آیین‌نامه از مفهوم وسیله نقلیه معادل و همسنگ‌سواری استفاده نمی‌شود. زیرابه اعتقاد این آیین‌نامه، تأثیری در ساده‌سازی روابط ندارد(Hurtado-Beltran, A., & Rilett, 2021). در کشور انگلستان در سال ۱۹۹۳ مطالعاتی درزمینه ترافیک جاده‌ای انجام شد. این تحقیقات توسط موسسه تحقیقات جاده‌ای صورت گرفت در دو سال بعد در سال ۱۹۹۵ به هنگام شد. در جریان این مطالعات ضریب همسنگ‌سواری وسایل نقلیه سنگین برای تمامی انواع راه‌ها باعرضه‌ای متفاوت یکسان به دست آمد. اما برای اتوبوس، ضریب همسنگ‌سواری

با توجه به نرخ جریان اتوبوس تغییر می‌کرد. این ضریب برای نرخ جریان اتوبوس ۳۰ وسیله در ساعت برابر ۵ و با افزایش نرخ جریان اتوبوس به ۲۵۰ وسیله در ساعت این ضریب به ۱ کاهش می‌یافت. طی تحقیقات دیگری که در سال ۱۹۷۵ در این کشور برای مطالعه روابط سرعت جریان صورت گرفت، جریان برحسب (veh/hr) بیان شد. در این مطالعات به ۳ دلیل از مفهوم *همسنگ‌سواری* استفاده نشده است.

۱- مقادیر *همسنگ‌سواری* با تغییر شرایط تغییر می‌کند. ازاین‌رو سادگی روند (که یکی از اهداف این مطالعات بود از بین می‌رود.

۲- به خاطر عدم وجود آمار میدانی کافی، امکان محاسبه ضرایب وجود نداشت.

۳- حتی اگر جریان ترافیک به صورت pcu/hr بیان می‌شد، سرعت متوسط تابعی از درصد وسایل نقلیه سنگین بود و ضریب محاسبه‌شده نماینده خوبی از ترکیب ترافیک نبود.

در کشور اندونزی با توجه به مشکلات ناشی از ناهمخوانی وضعیت ترافیک این کشور با مدل‌های کشورهای پیشرفته، در سال ۱۹۹۰ پروژه تهیه راهنمای ظرفیت راه‌های اندونزی آغاز گردید. راهنمای ظرفیت راه‌های اندونزی در دو فاز تهیه شد و پروژه مربوط به آن در سال ۱۹۹۵ به پایان رسید (Sharma and Biswas, 2021).

۱-۳- سازمان راهداری و حمل ونقل جاده‌ای

سازمان راهداری و حمل‌ونقل جاده‌ای برای مطالعات مهندسی ترافیک در جاده‌های برون‌شهری یک سری ضرایب *همسنگ‌سواری* پیشنهاد نموده است. مقادیر پیشنهادی بر اساس قضاوت کارشناسی و با توجه به تحقیقات انجام‌شده در سایر کشورها تعیین‌شده است (Abdi et al., 2020). در پیشنهاد این مقادیر سعی شده است، که ضرایب *همسنگ‌سواری* وسایل نقلیه موجود در کشور به‌صورت جداگانه ارائه گردد.

۱-٤- همسنگ‌سواری در آیین‌نامه ظرفیت راه‌ها

به صورت کلی آیین‌نامه ظرفیت راه‌ها مجموعه‌ای از روش‌ها و روندها را برای ارزیابی عملکرد چندگانه راه‌ها و خیابان‌های شهری تحت عنوان شاخص‌های عملکردی و سطح سرویس فراهم می‌آورد. این آیین‌نامه با اهداف تعیین شاخص‌های عملکردی و روش‌های برآورد ویژگی‌های ترافیک، تهیه روش‌هایی برای ارزیابی، تخمین و پیش‌بینی شاخص‌های عملکردی و توضیح تاثیرات حمل و نقل چندگانه بسط پیدا کرده است. در آیین‌نامه ظرفیت راه‌ها به منظور تعیین ظرفیت راه‌ها ضریبی برای اعمال تاثیرات وسایل نقلیه سنگین در نظر گرفته شده است و با نام ضریب تصحیح وسایل نقلیه سنگین معرفی شده است (De Luca and Dell'Acqua, 2014). این ضریب یک مقدار کوچکتر از یک است که در ظرفیت ایده‌آل ضرب می‌شود. آیین‌نامه ظرفیت راه‌ها برای محاسبه این ضریب، یک سری ضرایب میانی با عنوان ضریب همسنگ‌سواری برای وسایل نقلیه مختلف ارائه نموده است به این ترتیب، ضریب تصحیح وسایل نقلیه سنگین در این راهنما به صورت زیر تعیین می‌شود.

$$F_{HV}=\frac{1}{1+p_{hv}(E_{hv}-1)} \quad (۱)$$

که در آن

f_{Hv}: ضریب تصحیح وسایل نقلیه سنگین

P_{hv}: سهم وسایل نقلیه سنگین در جریان ترافیک

E_{hv}: ضریب همسنگ‌سواری برای وسایل نقلیه

بنابراین با داشتن مقادیر *همسنگ‌سواری* برای وسایل نقلیه، مختلف می توان ضریب تصحیح وسایل نقلیه سنگین را بدست آورد. آیین‌نامه ظرفیت راه‌ها پیشنهادات متفاوتی را برای تعیین *همسنگ‌سواری* در طول روند انتشار این آیین‌نامه ارائه کرده است. مطالعات دانکن بر پایه روابط تجربی نمودار سرعت- جریان قرار دارد. به این ترتیب که در این مطالعات از ضرایب رگرسیون نمودار سرعت- جریان در برآورد ضرایب همسنگ سواری استفاده شد. دانکن با مقایسه جریان‌های معادل با سرعت میانگین یکسان، ضرایب همسنگ سواری در جریان‌های متوسط و سنگین را به دست آورده است. اما در جریان‌های پایین به علت تاثیر بسیار ناچیز سرعت وسایل نقلیه سواری در اثر وجود وسایل نقلیه سنگین، ضریبی برای وسایل نقلیه سنگین به دست نیامد. تیلور و همکاران از مدل شبیه‌سازی برای محاسبه جریان‌های معادل استفاده کرده اند. در حقیقت در جریان این مطالعات، به جای ارائه ضرایب همسنگ سواری، نمودارهایی که جریان معادل وسایل نقلیه را در ترکیبات مختلف شیب (درصد و طول شیب) و با نسبت‌های مختلف وسایل نقلیه سنگین نشان می دهند، به کار گرفته شده است (Sharma and Biswas, 2021).

بهزادی، ۲۰۱۶ برای تعیین ضریب همسنگ*سواری* در جاده‌های دوخطه، روشی ارایه داد، که بر اساس مفهوم سبقت تعریف‌شده بود. مبنای روش وی بر اساس مقایسه تعداد نسبت‌های وسایل نقلیه بسیاری از وسایل نقلیه سنگین و سبقت‌های وسایل نقلیه سواری از یکدیگر در جاده‌های دوخطه قرارگرفته است. به‌این‌ترتیب از تقسیم تعداد سبقت‌های وسایل نقلیه سواری از وسایل نقلیه سنگین بر تعداد سبقت‌های وسایل نقلیه سواری از خودشان مقدار ضریب همسنگ*سواری* تعیین می‌شود (Behzadi and Shakibaei, 2016). خلاصه مرور ادبیات به شرح جدول ۱ می‌باشد.

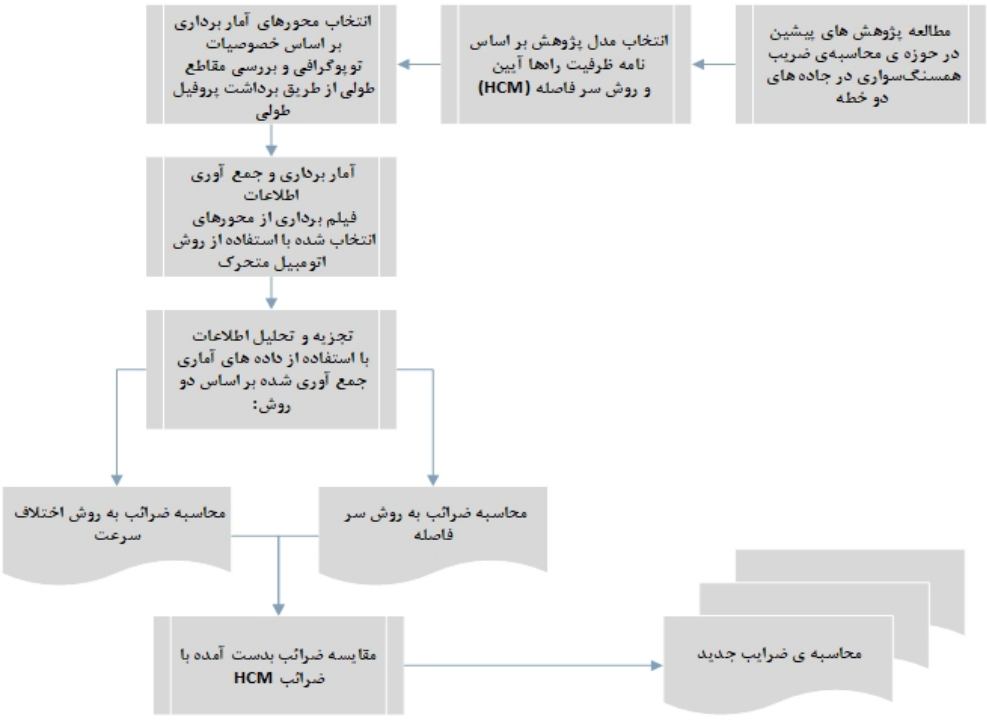
جدول ۱. خلاصه‌ای از مطالعات پیشین

نام محقق	سال	هدف تحقیق	نتیجه تحقیق
Elefteriadou et al.,	1997	تعیین ضرایب همسنگ*سواری* وسایل نقلیه سنگین درراه‌های دوخطه دوطرفه و ارزیابی مقایسه‌ای آن‌ها بر اساس روش‌های اختلاف سرعت و سرفاصله بوده است	ضرایب به‌دست‌آمده 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 راه‌ها کمتر است و میزان این تفاوت با افزایش شیب بیشتر می‌شود
Adnan	2014	بامطالعه بررسی‌های پیشین انجام‌گرفته و در زمینه تعیین ضریب همسنگ وسایل نقلیه و بررسی تاریخچه‌ای از سیرتکاملی روش‌های محاسبه همسنگ*سواری* برای وسایل نقلیه مختلف به مقایسه نسبی این روش‌ها پرداخته	به مقایسه نتایج حاصل از چند نمونه از بررسی‌های انجام‌شده در این زمینه پرداخته شده است
Zahiri and Chen	2018	تعیین ضرایب همسنگ*سواری* وسایل نقلیه سنگین در آزادراه‌های ایران با استفاده از نمودارهای چگالی- نرخ جریان (داده‌های درست نمود)	ضرایب وسایل نقلیه سنگین در مقطع پایه آزادراهی و درشیب طولی کمتر از ۲ درصد برای نسبت وسایل نقلیه سنگین ۳ الی ۱۰ و بیشتر از ۱۰ درصد معادل ۲ و ۷/۱ تعیین‌شده است. مقادیر تخمین زده‌شده در این مطالعه بیشتر از مقادیر پیشنهادی دستورالعمل ظرفیت راه (مبنای مطالعات ترافیکی) است
Kollar	2014	تعیین ضریب همسنگ*سواری* اتوبوس‌های عبوری از تقاطعات درون شهری در سه رژیم زیر اشباع، فوق اشباع، و اشباع (یا نزدیک به اشباع) با استفاده از شاخص تاخیر و بررسی عوامل موثر بر ضریب همسنگ*سواری* است	در رژیم اشباع، به دلیل ناپایداری جریان، ضریب همسنگ بیشترین مقدار را داراست و در رژیم زیر اشباع به دلیل آزادی عمل خودروهای سواری و خودداری آنها از قرارگیری در پشت اتوبوس، ضریب همسنگ اتوبوس کمی بیشتر از ۱ و در حد یک خودروی سواری است
Sarraj and Jadili	2016	به جای ارائه ضرایب همسنگ سواری، نمودارهایی که جریان معادل وسایل نقلیه را در ترکیبات مختلف شیب (درصد و طول شیب) و با نسبت‌های مختلف وسایل نقلیه سنگین نشان می‌دهند، به کار گرفته شدند	جریان ترافیک در سربالایی‌هایی که امکان سبقت در آنها موجود نیست، انجام شبیه سازی شده است. همچنین اندازه گروه در طول راه به عنوان شاخص عملکرد جریان ترافیک در نظر گرفته شده است

Ahmed et al.,	2022	تعیین ضریب همسنگ‌سواری در جاده‌های دوخطه، بر اساس مفهوم سبقت	با تقسیم تعداد سبقت‌های وسایل نقلیه سواری از وسایل نقلیه سنگین بر تعداد سبقت‌های وسایل نقلیه سواری از خودشان مقدار ضریب همسنگ‌سواری تعیین می‌گردد
Bouhouras and Basbas	2021	تعیین ضرایب همسنگ‌سواری بر استفاده از ضرایب رگرسیون نمودار سرعت- جریان	مقایسه جریان های معادل با سرعت میانگین یکسان، و ضرایب همسنگ سواری در جریان های متوسط و سنگین
Li et al.,	2019	در تکمیل روش وانتر در جاده‌های دوخطه روش دیگری ارایه کرده	از حاصل‌ضرب تعداد ماشین در متوسط زمان انتظار، تأخیر ناشی از سبقت به دست خواهد آمد که مبنای تعیین ضریب همسنگ*سواری* خواهد بود در حقیقت در این روش با در نظر گرفتن تأخیر ناشی از سبقت که معیاری از سطح‌رویی است نسبت به روش واکر ضریب همسنگ*سواری* را بهتر محاسبه می‌کند

۲- روش شناسی تحقیق

همان طور که مطابق فلوچارت شکل ۱ مشاهده می‌گردد ابتدا متدولوژی مورد استفاده در این تحقیق معرفی شد. بر این اساس در بخش‌های پیشین، روش‌های گوناگون محاسبه ضریب همسنگ‌سواری معرفی شد باید توجه داشت که در هر یک از این روش‌ها از یک رابطه خاص با متغیرهای متفاوت با توجه به آمار موجود استفاده شده است. روش و مدل مورد استفاده در کشور ما نیز باید با توجه به متغیرهای تاثیرگذار در کشور و منابع آماری موجود انتخاب شود.



شکل ۱. فلوچارت روش تحقیق

همان طور که در شکل ۱ مشاهده می‌گردد پس از مرور پژوهش‌های پیشین و تاکید بر لزوم اهمیت محاسبه‌ی ضریب همسنگ‌سواری در جاده‌های دوخطه‌ی کشور براساس خصوصیات ترافیکی و حمل و نقل جاده‌ای ایران از مدل پیشنهادی آیین نامه ظرفیت راه‌ها به دلیل جامعیت آن، مناسب‌تر بودن شاخص‌های عملکردی و همچنین در دسترس بودن مطالعات صورت گرفته، استفاده شده است. در کنار این مدل، روش سرفاصله نیز برای محاسبه ضرایب به کار گرفته شد. به این ترتیب مدل پیشنهادی این آیین‌نامه برای ادامه مطالعات تعیین همسنگ‌سواری راه‌های ایران پیشنهاد می‌شود.

به این ترتیب، با توجه به مدل‌های انتخاب شده جهت پیاده سازی مطالعه‌ی موردی و جهت برداشت اطلاعات آماری با استفاده از روش اتومبیل متحرک اطلاعات مورد نیاز جهت تجزیه و تحلیل اطلاعات استفاده می‌شود. به منظور تجزیه و تحلیل اطلاعات ابتدا باید یک شناخت کلی از راه‌های دو خطه کشور و وسایل نقلیه سنگین عبوری از راه‌های کشور به دست آید. همچنین به یک گروه‌بندی مناسب وسایل نقلیه با توجه به درصد عبور وسایل نقلیه سنگین در راه‌های کشور نیز نیاز است.

برای مقایسه ضرایب محاسبه شده به این روش با ضرایب پیشنهادی آیین نامه ظرفیت راه‌ها به سه گام اصلاحی نیاز است. این سه گام اختصاراً عبارتند از :۱- یکسان سازی گروه بندی وسایل نقلیه ۲- یکسان سازی ناوگان حمل و نقل سنگین عبوری از دو کشور و ۳- یکسان سازی واحد همسنگ‌سواری با انجام این سه گام امکان مقایسه دو ضریب فراهم می شود.

۲-۱- گام اول : آمار برداری و انتخاب روش آمار برداری

با توجه به هزینه زمان و تجهیزات مربوط به هر یک از روش‌های آماربردادی در این تحقیق برای برداشت اطلاعات از روش اتومبیل متحرک استفاده شده است. به این ترتیب که وسیله نقلیه، در هر جهت مسیر یک سری حرکت آزمایشی انجام می‌دهد. این روش نسبت به سایر روش‌ها اقتصادی تر بوده و به نیروی انسانی کمتری برای برداشت آمار و اطلاعات نیاز دارد (Hajisoleimani et al., 2021). برای کاهش هر چه کمتر خطا در آماربرداری، باید مانند مشخصات مسیر عرض خط عرض شانه شرایط توپوگرافی و .... در طول منطقه مورد مطالعه ثابت باشد. اطلاعات مورد نیاز که در هر یک از قطعات یادداشت می‌شوند عبارتند از:

۱) زمان سفر

۲) ترافیک مقابل

۳) وسایل نقلیه‌ای که از اتومبیل آزمایش سبقت می‌گیرند.

٤) وسایل نقلیه‌ای که اتومبیل آزمایش از آنها سبقت می‌گیرد.

به این ترتیب حجم وسایل نقلیه در هر جهت از فرمول (۲) به دست می‌آید.

$$Vn = \frac{60(M_s + O_n - P_n)}{T_s + T_n} \qquad (۲)$$

که در آن

V_n : حجم یک جهتی

M_s : تعداد خودروهایی که در جهت مخالف شمرده شده‌اند.

O_n: تعداد خودروهایی که از اتومبیل آزمایش سبقت می‌گیرند.

P_n : تعداد خوردوهایی که اتومبیل آزمایش از آن‌ها سبقت می‌گیرند.

T_n: زمان سفر در جهت مورد مطالعه (ثانیه)

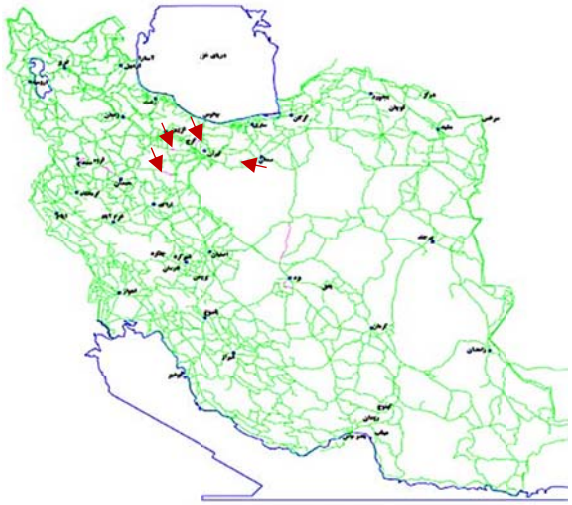
T_s: زمان سفر در جهت مقابل (ثانیه)

۲-۲- گام دوم: انتخاب محورهای آماری

برای انتخاب مقاطع مکانی مناسب برای عملیات آماربرداری در مطالعات راه‌های دو خطه از تکنیک غربالگری استفاده شده است. برای انتخاب محورهای آماری ابتدا بر اساس شرایط جغرافیایی و آب و هوایی کشور به ۳ قسمت نواحی کوهستانی غربی نواحی جنوبی و مرکزی و نواحی شمالی تقسیم شد. در هر یک از این مناطق سه گانه، سه محور بر اساس شرایط توپوگرافی انتخاب شد به این شکل که هر یک از مناطق شامل یک محور هموار یک محور تپه ماهور و یک محور کوهستانی باشد. ساعت و زمان آمار برداری نیز به شکلی انتخاب شد، که آمار برداری در زمان‌های پر تردد و کم تردد محور صورت گیرد. نهایتاً با در نظر گرفتن شرایط گفته شده محورهایی در استان‌های قم و تهران (نواحی شمالی کشور)، یزد (ناحیه مرکزی و جنوبی) و همدان و کردستان

نواحی غربی با ملحوظ داشتن سایر شرایط نظیر تعداد محورهای دوخطه موجود در استان اهمیت آنها واقع شدن در شرایط مختلف آب و هوایی و غیره برگزیده شدند. محورهای انتخابی با توجه به شرایط توپوگرافی که در آن قرار گرفتند دارای طول‌های متفاوت از ۳ تا ۵ کیلومتر می‌باشند محورهای انتخابی به شرح زیر می‌باشند:

محور تهران- قم، محور گچسر- سیاه بیشه، محور اشتهارد – بویین زهرا ، محور ساوه – تهران



شکل ۲. محل قرار گیری محورهای انتخابی در کشور

۲-۳- گام سوم: برداشت آمار و اطلاعات

پس از انتخاب محورهای آماری به کمک نرم افزار Google Earth شرایط توپوگرافی مسیر بررسی می‌شود و یک طول مناسب که در آن شرایط توپوگرافی مسیر ثابت، باشد انتخاب می‌شود. پس از شناسایی قطعه انتخابی در هر محور، با مراجعه به مقطع آمارگیری شرایط محل از نزدیک بررسی می‌شود و در صورت لزوم و یا وجود مشکل در قسمت انتخاب شده تغییرات لازم در طول یا قطعه انتخابی اعمال می‌شود.

۲-٤- گام چهارم: محاسبه ی ضرایب همسنگ‌سواری به روش اختلاف سرعت و روش سر فاصله

اساس این روش بر پایه اختلاف سرعت وسایل نقلیه سواری در یک جریان کاملاً سواری با یک جریان مختلط (شامل سواری و یک نوع وسیله نقلیه سنگین قرار دارد) می‌باشد. برای محاسبه هر یک از این پارامترها در شرایط توپوگرافی متفاوت اطلاعات مربوط به هر یک از شرایط توپوگرافی تجمیع می‌شوند. یکی از پارامترهای تاثیرگذار بر محاسبه ضریب همسنگ سواری به این روش ضریب تصحیح شیب می‌باشد. برای محاسبه این ضریب می‌توان از جداول و مطالعات پیشین صورت گرفته در این زمینه استفاده کرد و یا به وسیله کالیبراسون رابطه محاسبه این ضریب در آیین نامه ظرفیت راه‌ها، ضریب تصحیح شیب را مستقلاً محاسبه نمود، بنابراین پیش از محاسبه ضریب همسنگ سواری ابتداء ضریب تصحیح شیب محاسبه می‌شود.

روش سرفاصله فضای بیشتری که وسایل نقلیه سنگین برای جبران عملکرد ضعیف‌تر این وسایل نقلیه احتیاج دارند را بازتاب می‌دهد. فاصله زمانی بین جفت خوروی عبوری، معمولاً بین سپر جلوی دو خودروی پشت سر هم از محل معین راه (برحسب ثانیه). (آیین‌نامه طرح هندسی راه‌های برون شهری، نشریه شماره ۸۰۰). ضریب همسنگ سواری از رابطه (۳) محاسبه می‌شود.

$$E_t = \frac{h_t}{h_c} \qquad (۳)$$

که در آن

h_t: سرفاصله متوسط برای وسایل نقلیه سنگین در جریان ترافیک (S)

h_c: سرفاصله متوسط برای وسایل نقلیه سواری در جریان ترافیک (S)

با توجه به اینکه در این مطالعات وسایل نقلیه سنگین به دو صورت طبقه بندی شدند، hy نیز، برای هر یک از وسایل نقلیه سنگین در هر گروه‌بندی تعریف می‌شود به این معنی که برای گروه‌بندی پیشنهادی سرفاصله‌ها در دو گروه سرفاصله متوسط برای وسایل نقلیه سنگین یک قسمتی و دو قسمتی و برای گروه بندی سازمان راهداری به صورت سرفاصله متوسط برای کامیون دو محور سبک و مینی بوس، سرفاصله متوسط کامیون دو محور سرفاصله متوسط اتوبوس و سرفاصله متوسط کامیون چهار محور و بالاتر تقسیم می‌شود.

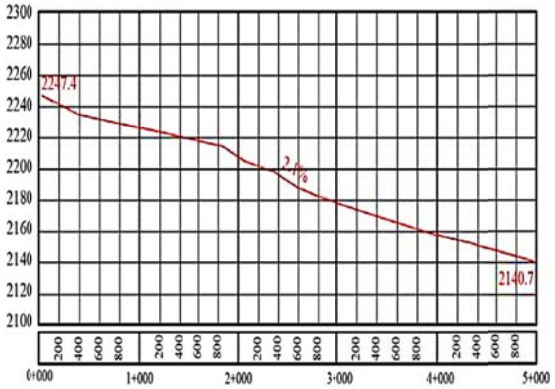
۲-۵-گام پنجم: مقایسه ضرایب بدست آمده و محاسبه ضرایب جدید

با توجه به تفاوت در گروه بندی وسایل نقلیه در این تحقیق با آیین نامه ظرفیت راه‌ها، مقایسه مستقیم ضرایب نتایج معتبری به دست نمی‌دهد. برای انجام یک مقایسه مستدل بین این دو گروه

از ضرایب باید ابتدا گروه بندی وسایل نقلیه معادل قرار گیرد پس از معادل سازی ناوگان حمل و نقل ضرایب بدست آمده با ضرایب HCM مقایسه و ضرایب مناسب با شرایط جاده‌ای کشور و ناوگان حمل و نقل ارائه می‌گردد.

۲-٦- برداشت آمار و اطلاعات

شکل ۳ قطعه انتخاب شده از محور آدران - گچسر را به عنوان نمونه نشان می‌دهد. در این شکل طول قسمت انتخابی در نرم افزار Google earth به رنگ قرمز نشان داده شده است. وجود تونل یا کاربری‌های پر تردد در حاشیه مسیر تعریض مسیر از ۲ خط به ٤ خط در طول قطعه انتخاب شده و یا هر عاملی که مانع از انجام فیلم برداری و یا عملیات مشابه، باشد از عوامل موثر در ایجاد تغییرات قطعه انتخابی می‌باشد سایر جزییات در انتخاب قطعه انتخابی شامل موارد زیر است:



شکل ۱. پروفیل طولی قسمت انتخابی محور تهران- گچسر

-تا حد امکان در دو انتهای قسمت انتخابی امکان دور زدن برای وسیله نقلیه متحرک وجود داشته باشد.

-روسازی مسیر مناسب باشد.

-وجود دست انداز باعث کاهش سرعت وسایل نقلیه و خطا در اطلاعات می‌شود.

-جهت دسترسی به امکانات شهری بهتر است قطعه انتخابی به شهر نزدیک باشد.

برای تکمیل عملیات آمار برداری به پروفیل طولی قسمت انتخابی محورها نیز نیاز است. برای برداشت پروفیل طولی محورها از دستگاه GPS استفاده می‌شود. در این پژوهش دستگاه GPS GARMIN ۳۰۰ به کار گرفته شد. خطای این دستگاه مطابق با دستورالعمل آن برابر حدود ۲ متر در طول، عرض و ارتفاع می‌باشد.

برای انجام عملیات آماربرداری و فیلم برداری یک روز عادی وسط هفته انتخاب شده است. فرایند آمار برداری علاوه بر راننده حداقل به ۲ نفر احتیاج دارد یک نفر در طول مسیر با یک زاویه مناسب به شکلی که هر دو خط و ترجیحاً حاشیه مسیر کاملاً مشخص باشد از وسایل نقلیه فیلم برداری می‌کند. در این حین، یک نفر سرعت وسیله نقلیه متحرک و علائم ترافیکی محدودیت سرعت را برای ثبت در فیلم اعلام می‌کند. راننده وسیله نقلیه نیز باید آشنا به مسیر باشد تا میزان خطای مربوط به راننده کاهش یابد (Afandizadeh et al., 2023).

فیلم برداری در ٦ رفت و برگشت انجام شده است، ۳ رفت و برگشت در صبح و ۳ رفت و برگشت بعد از ظهر بهتر است. بین فیلم برداری رفت مسیر و برگشت تاخیری نباید ایجاد شود. آمارگیری صبح بین ساعت ۸ تا ۱۲ صبح و آمارگیری بعد از ظهر از ساعت ۱۲ تاقبل از غروب آفتاب انجام گردید. به این شکل اطلاعات زمان سفر، سرعت، حجم به تفکیک وسیله نقلیه و سبقت حاصل می‌گردد.

۳- نتایج و بحث

۳-۱- روش اختلاف سرعت

۳-۱-۱- محاسبه ضریب تصحیح

برای تعیین ضریب همسنگ‌سواری از یک ضریب واسط که در آیین نامه ظرفیت راه‌ها در نسخه های ۲۰۰۰ و و ۲۰۱۰ با نرم افزار TWOPAS برای این منظور به کار رفته است. ضریب تصحیح شیب یک عدد کوچکتر با برابر یک است که مقدار آن با توجه شرایط توپوگرافی مسیر محاسبه می‌شود. در آیین‌نامه ظرفیت راه‌ها مقدار این ضریب در شرایط هموار برابر یک و در سایر مناطق توپوگرافی با توجه به درصد و طول شیب و حجم ترافیک یک عدد کوچکتر از یک می‌باشد. مقدار این ضریب به کمک فرمول محاسبه می‌شود.

(٤)

$$ET = \frac{P_T(V|F_G) + ((ATS_{tr/grade} - ATS_{pc/grade})/-0.0125)}{P_T(V|f_G)}$$

که در آن:

ET : ضریب همسنگ سواری برای وسیله نقلیه سنگین

$ATS_{tr/grade}$: میانگین سرعت سفر در جریان مختلط در ناحیه هموار یا در شیب خاص (کیلومتر بر ساعت)

$ATS_{pc/grade}$: میانگین سرعت سفر در جریان کاملاً سواری در ناحیه هموار یا در شیب خاص (کیلومتر بر ساعت)

V : حجم جریان ترافیک

PT: درصد وسایل نقلیه سنگین و

G : ضریب شیب می‌باشد.

مقدار ثابت ۰۱۲۵- ۰ شیب منحنی سرعت – جریان می‌باشد.

در این مدل از اختلاف سرعت وسایل نقلیه سواری در جریان ترافیک پایه و جریان ترافیک مختلط برای محاسبه ضریب همسنگ سواری استفاده شده است.

۳-۲- ترسیم نمودار سرعت – جریان

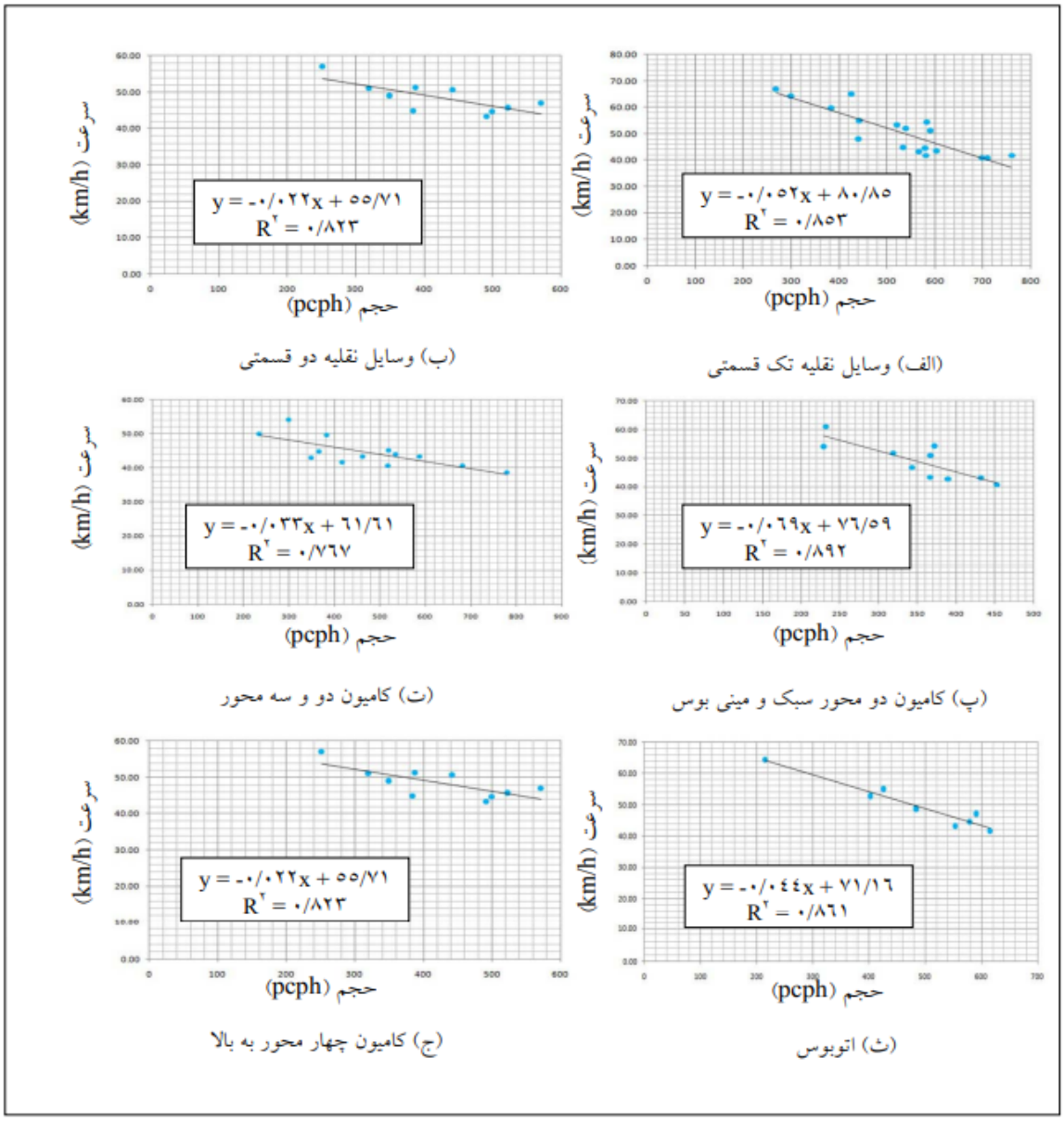
جهت کالیبراسیون مدل همسنگ سواری آیین‌نامه ظرفیت راه‌ها برای محاسبه ضریب همسنگ سواری در کشور ایران از یک فرایند تکراری استفاده می‌شود در گام اول این فرایند نمودار سرعت جریان برای هر یک از شرایط توپوگرافی و گروه‌های وسایل نقلیه ترسیم می‌شود سپس نمودار رگرسیون برای برازش داده‌ها ترسیم می‌گردد. در این تحقیق از تابع درجه یک (خطی) با شیب منفی برای برازش داده‌ها استفاده شده است. شیب این تابع به عنوان ضریب کالیبره شده در رابطه HCM قرار می‌گیرد و به این ترتیب، در تکرار اول ضریب همسنگ سواری وسیله نقلیه سنگین مورد نظر محاسبه می‌گردد برای تکرار بعدی برای ترسیم مجدد نمودار سرعت حجم ضریب محاسبه شده در تعداد وسایل نقلیه سنگین ضرب شده و حجم معادل سواری محاسبه می‌گردد. این فرایند تا همگرا شدن ضرایب همسنگ سواری در دو تکرار پایانی و افزایش ضریب رگرسیون (ضریب R) تا یک مقدار قابل قبول ادامه می‌یابد. نمودارهای الف تا ج درشکل ٤، نمودارهای سرعت- حجم به ترتیب در هر یک از شرایط توپوگرافی، هموار تپه ماهور و شیب‌های خاص را نشان می‌دهد. این نمودارها مربوط به تکرار پایانی می‌باشد.

جدول ۲ یک نمونه نتایج تست‌های آماری نمودارهای رگرسیون مربوط به شکل الف را نشان می‌دهد.

جدول ۲. نتایج تست‌های آماری نمودار شکل الف

Model		Some of squers	df	Mean Squre	F	.Sig
۱ Regression		۲٦٤۰٦۸٫۸۳٤	۱	۲٦٤۰٦۸٫۸۳٤	٦٦٫۱۳۳	.۰۰۰[a]
Residual		۹۱۸۳۸٫۸۸۱	۲۳	۳۹۹۲٫۹۹٥		
Total		۳٥٥۹۰۷٫۷۱٥	۲٤			

Model	Unstandardized Coefficient		Standardized Coefficient	t	.Sig
	B	Std.Error	Beta		
(Constant)	۱٤۱٦٫٤۹۸			۹٫۸۷٥	.۰۰۰[a]
سرعت	-۱٤٫۸۳۹	۱٫۸۲٥	-۰٫۸٦۱	-۸٫۱۳۲	.۰۰۰[a]



شکل ۱. نمودار سرعت حجم در شرایط توپوگرافی هموار برای هر یک از گروه‌های وسایل نقلیه نقلیه

شیب هر یک از این نمودارها در شرایط توپوگرافی مربوط به عنوان ضریب کالیبراسیون در معادله ۳ جایگزین می‌شود. به این ترتیب این رابطه در جداول ۳ و ٤ با توجه به نتایج رگرسیون به صورت زیر برای هر یک از انواع وسایل نقلیه سنگین در هر یک از شرایط توپوگرافی در کشور بازنویسی می‌شود.

جدول ۳. روابط کالیبره شده همسنگ سواری در شرایط توپوگرافی مختلف برای وسایل نقلیه سنگین گروه بندی پیشنهادی

توپوگرافی	نوع وسیله نقلیه سنگین	رابطه
هموار	وسایل نقلیه سنگین یک قسمتی	$ET = \frac{P_T(V\|F_G) + ((ATS_{tr/grade} - ATS_{pc/grade})/-0.05)}{P_T(V\|f_G)}$
	وسایل نقلیه سنگین دو قسمتی	$ET = \frac{P_T(V\|F_G) + ((ATS_{tr/grade} - ATS_{pc/grade})/-0.053)}{P_T(V\|f_G)}$
تپه ماهور	وسایل نقلیه سنگین یک قسمتی	$ET = \frac{P_T(V\|F_G) + ((ATS_{tr/grade} - ATS_{pc/grade})/-0.053)}{P_T(V\|f_G)}$
	وسایل نقلیه سنگین دو قسمتی	$ET = \frac{P_T(V\|F_G) + ((ATS_{tr/grade} - ATS_{pc/grade})/-0.066)}{P_T(V\|f_G)}$
کوهستانی	وسایل نقلیه سنگین یک قسمتی	$ET = \frac{P_T(V\|F_G) + ((ATS_{tr/grade} - ATS_{pc/grade})/-0.052)}{P_T(V\|f_G)}$
	وسایل نقلیه سنگین دو قسمتی	$ET = \frac{P_T(V\|F_G) + ((ATS_{tr/grade} - ATS_{pc/grade})/-0.022)}{P_T(V\|f_G)}$

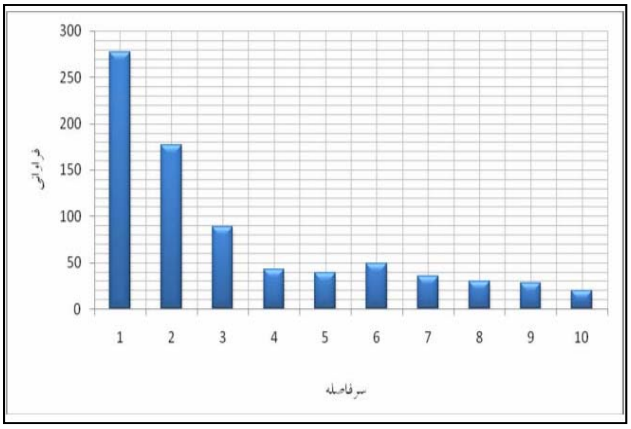
جدول ٤. روابط کالیبره شده همسنگ سواری در شرایط توپوگرافی مختلف برای وسایل نقلیه گروه‌بندی سازمان راهداری

توپوگرافی	نوع وسیله نقلیه سنگین	رابطه
هموار	کامیون دو محور سبک و مینی بوس	$ET = \frac{P_T(V\|F_G) + ((ATS_{tr/grade} - ATS_{pc/grade})/-0.045)}{P_T(V\|f_G)}$
	کامیون دو محور و سه محور	$ET = \frac{P_T(V\|F_G) + ((ATS_{tr/grade} - ATS_{pc/grade})/-0.041)}{P_T(V\|f_G)}$
	اتوبوس	$ET = \frac{P_T(V\|F_G) + ((ATS_{tr/grade} - ATS_{pc/grade})/-0.067)}{P_T(V\|f_G)}$
	کامیون چهار محور و بالاتر	$ET = \frac{P_T(V\|F_G) + ((ATS_{tr/grade} - ATS_{pc/grade})/-0.053)}{P_T(V\|f_G)}$
تپه ماهور	کامیون دو محور سبک و مینی بوس	$ET = \frac{P_T(V\|F_G) + ((ATS_{tr/grade} - ATS_{pc/grade})/-0.062)}{P_T(V\|f_G)}$
	کامیون دو محور و سه محور	$ET = \frac{P_T(V\|F_G) + ((ATS_{tr/grade} - ATS_{pc/grade})/-0.057)}{P_T(V\|f_G)}$

	اتوبوس	$ET = \frac{P_T(V\|F_G) + ((ATS_{tr/grade} - ATS_{pc/grade})/-0.043)}{P_T(V\|f_G)}$
	کامیون چهار محور و بالاتر	$ET = \frac{P_T(V\|F_G) + ((ATS_{tr/grade} - ATS_{pc/grade})/-0.066)}{P_T(V\|f_G)}$
کوهستانی	کامیون دو محور سبک و مینی بوس	$ET = \frac{P_T(V\|F_G) + ((ATS_{tr/grade} - ATS_{pc/grade})/-0.069)}{P_T(V\|f_G)}$
	کامیون دو محور و سه محور	$ET = \frac{P_T(V\|F_G) + ((ATS_{tr/grade} - ATS_{pc/grade})/-0.033)}{P_T(V\|f_G)}$
	اتوبوس	$ET = \frac{P_T(V\|F_G) + ((ATS_{tr/grade} - ATS_{pc/grade})/-0.044)}{P_T(V\|f_G)}$
	کامیون چهار محور و بالاتر	$ET = \frac{P_T(V\|F_G) + ((ATS_{tr/grade} - ATS_{pc/grade})/-0.022)}{P_T(V\|f_G)}$

۳-۳- روش سرفاصله

در طی فرآیند پیاده‌سازی اطلاعات داده‌های مربوط به ۳۷۰۰ سرفاصله استخراج شد. از این میان حدود ۳۰۰۰ داده مربوط به سرفاصله وسایل نقلیه سبک و باقی مربوط به انواع وسایل نقلیه سنگین می‌شود. همچنین از این میان حدود ۹۰۰ داده در مناطق هموار ۱۳۰۰ داده در مناطق تپه ماهور و ۱۵۰۰ داده در مناطق کوهستانی می‌باشد. شکل ۵ نمودار فراوانی سرفاصله میان وسایل نقلیه را در نواحی هموار نشان می‌دهد.



شکل ۲. نمودار فراوانی سرفاصله از فیلم‌های برداشت شده در مناطق هموار

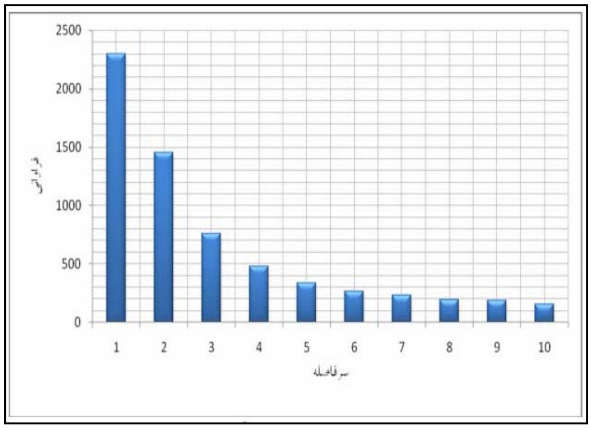
از برداشت داده‌های مربوط به سرفاصله از فیلم‌های تهیه شده سرفاصله‌های به دست آمده معادله ٤ جایگزین می‌شوند. جدول ۵ ضرایب همسنگ سواری به دست آمده از این روش را نشان می‌دهد. از تفاضل زمان عبوری می‌توان سرفاصله میان وسایل نقلیه را به دست آورد. در آمار ارائه شده، در یک ستون نوع وسیله نقلیه عبوری مطابق طبقه‌بندی سازمان راهداری را به وسیله یک کد مشخص کرده است. کد صفر نشان دهنده وسایل نقلیه سبک، کد ۱ کامیون دو محور سبک و مینی بوس، کد۲ کامیون دو و سه محور، کد ۳ اتوبوس و کد ٤ کامیون چهار محور و بالاتر می‌باشد. پس از به دست‌آوردن سرفاصله میان وسایل نقلیه، سرفاصله‌ها بر حسب نوع وسیله نقلیه فیلتر می‌شوند و در ۵ گروه یاد شده گروه‌بندی می‌گردند. این فرآیند باید در بازه‌های یک

ساعته انجام شود شکل ۷ نمودار فراوانی سرفاصله میان انواع وسایل‌نقلیه را که به وسیله شناسگرها برداشت شده نشان می‌دهد این نمودار پس از پالایش داده‌ها و حذف اعداد پرت ترسیم شده است. همان طور که در تصویر ٦ مشاهده می‌گردد در مناطق هموار سرفاصله بین ۰ تا دو ثانیه بیشترین فراوانی سرفاصله در این مناطق را دارا می‌باشد. این سرفاصله‌ها مربوط به تمامی انواع وسایل نقلیه می‌باشد. با محاسبه حجم عبوری در هر ساعت می‌توان سرفاصله‌ها مانند مرحله پیشین در دو گروه کمتر و بیشتر از ۵۰۰ وسیله نقلیه در ساعت تقسیم‌بندی کرد.

در هر گروه متوسط سرفاصله برای وسایل نقلیه سبک و انواع وسایل نقلیه سنگین محاسبه می‌شود و در فرمول ٤ جایگزین می‌شود نتایج مربوط به این محاسبات در جدول ٦ ارائه شده است.

جدول ۵. ضرایب همسنگ سواری محاسبه شده به روش سرفاصله از فیلم های گرفته شده

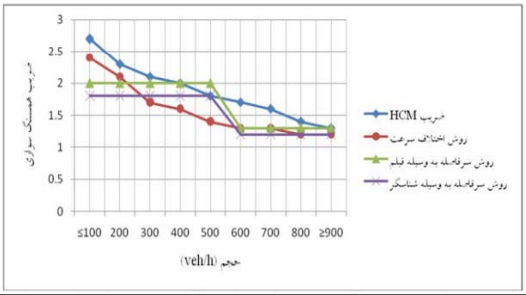
شیب	حجم (vph)	وسیله نقلیه سنگین یک قسمتی	وسیله نقلیه سنگین دو قسمتی	کامیون دو محور سبک و مینی بوس	کامیون دو و سه محور	اتوبوس	کامیون چهار محور و بالاتر
هموار	≤۵۰۰	۱,۲	۱,۵	۱,۲	۱,٤	۱,۳	۱,۵
	>۵۰۰	۱,۱	۱,۳	۱,۱	۱,۱	۱,۱	۱,۳
تپه ماهور	≤۵۰۰	۲	۱,۱	۱,۷	۲	۱,۹	۲,۲
	>۵۰۰	۱,۳	۱,٦	۱,۲	۱,٤	۱,٤	۱,٦
۳,۵ تا ٤,۵	≤۵۰۰	٤,٦	٦,٦	۳,۵	٤,۳	٤	٦,٦
	>۵۰۰	۳,۷	۵	۲,۸	۳	۲,٦	۵
٤,۵ تا ۵,۵	≤۵۰۰	٦,۱	٦,۷	٤,٦	۵,۳	٤,۹	۷
	>۵۰۰	٤,۸	٦	۳,۸	٤,٤	٤	٦,۲
۵,۵ تا ٦,۵	≤۵۰۰	٦,۷	۸,۸	۵,۲	٦,۲	۵,٦	۸,۸
	>۵۰۰	٦,۳	۸	٤,۷	۵,۸	۵,۱	۸



شکل۳. نمودار فراوانی سرفاصله از شناسگرها در مناطق هموار

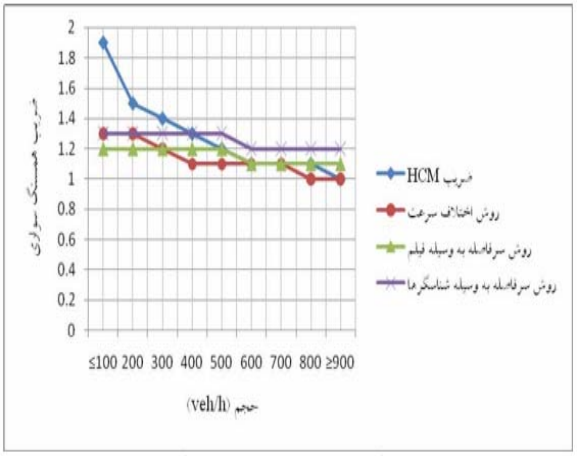
جدول ٦. ضرایب همسنگ سواری محاسبه شده به روش سرفاصله از شناسگرهای سازمان راهداری

شیب	حجم (vph)	وسیله نقلیه سنگین یک قسمتی	وسیله نقلیه سنگین دو قسمتی	کامیون دو محور سبک و مینی بوس	کامیون دو و سه محور	اتوبوس	کامیون چهار محور و بالاتر
هموار	≤۵۰۰	۱,۳	۲	۱,۳	۱,۵	۱,٤	۲
	>۵۰۰	۱,۲	۱,۸	۱,۲	۱,۲	۱,۱	۱,۸
تپه ماهور	≤۵۰۰	۱,۸	۲	۱,٦	۱,۹	۱,۸	۲
	>۵۰۰	۱,۲	۱,٤	۱,۲	۱,۳	۱,۲	۱,٤
٤,۵ تا ۵,۵	≤۵۰۰	۵,۵	٦,۲	٤,۱	۵	۳,۷	۵,٤
	>۵۰۰	٤,۳	۵,٤	۳,۵	٤,۱	۳,۷	۵,٤

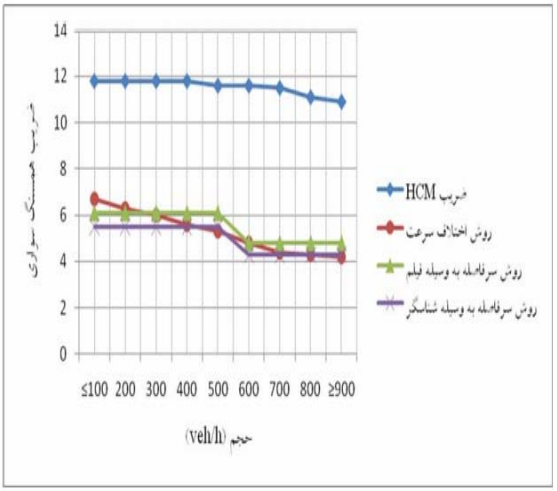


شکل ۷. مقایسه ضرایب همسنگ سواری محاسبه شده وسایل نقلیه سنگین یک قسمتی در مناطق هموار

مقایسه نتایج به دست آمده از روش سرفاصله در جدول ٦ با روش آیین‌نامه ظرفیت راه‌ها جدول ۵ نشان می‌دهد که در مناطق هموار و تپه ماهور ضرایب محاسبه شده تا حد زیادی بر یکدیگر منطبقند. تنها در برخی قسمت‌ها بین این ضرایب اختلاف کمی حداکثر تا ۳۰ درصد وجود دارد. نمودار شکل۷ نمودار تغییر ضرایب به دست آمده از دو روش را نسبت به افزایش حجم مقایسه کرده است. در این نمودارها ضرایب محاسبه شده با ضرایب آیین‌نامه ظرفیت راه‌ها نیز مقایسه شده است. این شکل ضرایب همسنگ‌سواری وسایل نقلیه سنگین یک قسمتی را در مناطق هموار نشان می‌دهد. همانطور که نمودار نشان می‌دهد ضرایب همسنگ‌سواری برای وسایل نقلیه سنگین یک قسمتی در ایران و آیین‌نامه ظرفیت راه‌ها تا حد زیادی بر یکدیگر منطبقند. تنها در حجم‌های پایین ضرایب پیشنهادی HCM مقادیر بالاتری را پیشنهاد می‌دهد این روند کلی برای تمامی وسایل نقلیه سنگین در مناطق هموار صادق است. همانطور که در شکل ۷ نشان داده شده در مناطق تپه ماهوری تفاوت میان ضرایب محاسبه شده برای کشور ایران با ضرایب پیشنهادی HCM نسبت به مناطق هموار بیشتر است. این تفاوت در کامیون‌های دو محور سبک و مینی بوس بیشتر و در کامیون چهار محور و بالاتر کمتر است. البته با افزایش حجم میزان اختلاف کمتر می‌شود. شکل ۸ نشان می‌دهد که در مناطق تپه ماهوری اختلاف چندانی میان ضرایب محاسبه شده وجود ندارد و همچنان نتایج یکدیگر را تأیید می‌کنند. در شیب‌های بالاتر در حجم های کمتر از ۵۰۰ وسیله نقلیه بر ساعت اختلاف زیادی در نتایج دو روش مشاهده نمی‌شود اما با افزایش حجم این اختلاف بیشتر می‌شود در حقیقت با افزایش میزان شیب و حجم ترافیک، اختلاف در ضریب همسنگ سواری تنها در برخی وسایل سنگین افزایش می‌یابد. در شکل ۹ مقایسه‌ای میان ضرایب محاسبه شده به دو روش در شیب ٤/۵ تا ۵/۵ درصد انجام شده است. ضرایب این شکل مربوط وسایل نقلیه سنگین یک قسمتی می‌باشد.



شکل ۸. مقایسه ضرایب همسنگ سواری محاسبه شده وسایل نقلیه سنگین یک قسمتی در مناطق تپه ماهور



شکل۹. مقایسه ضرایب همسنگ سواری محاسبه شده وسایل نقلیه سنگین یک قسمتی در شیب ٤/٥ تا ٥/٥ درصد

همانطور که در شکل ۹ نشان داده شده است در شیب‌های بالاتر میزان اختلاف میان ضرایب محاسبه شده در کشور با ضرایب پیشنهادی HCM بیشتر می‌شود. شکل ۹ همچنین نشان می دهد، ضرایب محاسبه شده به وسیله شناسگر از ضرایب محاسبه شده به روش سرفاصله از فیلم‌های گرفته شده مقادیر کمتری دارند. این اختلاف به این علت است که معمولاً شناسگرهای سازمان راهداری در مناطق هموارتر که شرایط مناسب تری دارند نصب می‌شوند. بدیهی است در این مناطق وسایل نقلیه سنگین عملکرد بهتری دارند در حالی که مقادیر سرفاصله در فیلم‌های گرفته شده، مستقیماً در شیب برداشت شده است. مقایسه ضرایب به دست آمده از دو روش نشان داد که اختلاف میان این ضرایب تنها در شیب‌ها و حجم‌های بالا مشاهده می‌شود و این اختلاف عمدتاً محدود به یک یا دو وسیله نقلیه سنگین می‌باشد و در سایر موارد میزان تفاوت قابل قبول می‌باشد به بیان دیگر هر کدام از روش‌ها ضرایب محاسبه شده به روش دیگر را تایید می‌کنند. از طرف دیگر روش اختلاف سرعت ضرایب همسنگ سواری را در ۹ گروه حجمی پیشنهاد می‌کند. این امر میزان دقت را در محاسبات آینده که از این ضرایب استفاده می‌کنند، بالاتر می‌برد. که این مسئله نیز به نوبه خود باعث صرفه جویی در منابع مالی و زمان می.شود. همچنین، رابطه اختلاف سرعت از پارامترهای متعدد موثر برای افزایش اطمینان و دقت در استفاده کرده است. به کارگیری روابط سرعت حجم در مناطق توپوگرافی مختلف نیز از دیگر نقاط قوت این روش به شمار می‌رود. در روش سرفاصله ضرایب تنها بر اساس یک نسبت تعیین می‌شوند و در نتیجه میزان انسدادی که وسایل نقلیه سنگین در جریان ترافیک ایجاد می‌کنند به خوبی برآورد نمی‌شود همچنین ارائه نتایج در دو گروه نیز میزان دقت مطالعات آتی را کاهش می‌دهد با توجه به مطالب گفته شده ضرایب محاسبه شده به وسیله روش اختلاف سرعت به‌عنوان ضرایب همسنگ سواری در راه‌های دوخطه کشور پذیرفته می‌شوند.

۳-٤- مقایسه ضرایب محاسبه شده با ضرایب آیین نامه ظرفیت راه‌ها

با توجه به تفاوت در گروه بندی وسایل نقلیه در این تحقیق با آیین نامه ظرفیت راه‌ها، مقایسه مستقیم ضرایب نتایج معتبری به دست نمی‌دهد. برای انجام یک مقایسه مستدل بین این دو گروه از ضرایب باید ابتدا گروه‌بندی وسایل نقلیه معادل قرار گیرد. گام اول در این مسیر مقایسه ناوگان وسایل نقلیه سبک و سنگین در ایران و آمریکا و نسبت وسایل‌نقلیه سنگین در هر یک از این کشورهاست منابع موجود در کشور آمریکا نشان می‌دهند که در این کشور در حدود ۲۵۰ میلیون وسیله نقلیه وجود دارد که از این میان ۵/۲ درصد وسایل نقلیه دو محور ٦ چرخ، ۱ درصد

اتوبوس و ۲ درصد وسایل نقلیه سنگین شامل تریلر می‌باشند. جدول ۷ درصد وسایل نقلیه سنگین در ایران و آمریکا را نشان می‌دهد.

جدول ۷. مقایسه درصد وسایل نقلیه سنگین در ایران و آمریکا

نوع وسیله نقلیه	ایران (درصد)	HCM (درصد)
وسیله نقلیه سنگین یک قسمتی	۲۱	۳/۵
وسیله نقلیه سنگین دو قسمتی	۸	۲
نسبت وسایل نقلیه یک قسمتی به دو قسمتی	۲/٦	۱/۷۵

در این جدول در سطر سوم نسبت وسایل نقلیه سنگین یک قسمتی به دو قسمتی درج شده است. در کشور ایران این نسبت برابر ۲/٦ است. به این معنی که تردد وسایل نقلیه سنگین یک قسمتی ۲/٦ برابر بیشتر از وسایل نقلیه سنگین دو قسمتی در راه‌های ایران است. این نسبت در آمریکا برابر ۱/۷۵ است. وجود وسایل نقلیه سنگین کوچکتر و سبکتر باعث تحرک بیشتر و در نتیجه ضریب کمتر در راه‌های ایران است. در طرف مقابل حضور وسایل نقلیه سنگین‌تر و بزرگتر در راه‌های آمریکا منجر به محاسبه ضرایب بزرگتر در این کشور شده است.

برای انجام معادل سازی میان ضرایب همسنگ سواری ابتدا تمام وسایل نقلیه سنگین یک قسمتی و دو قسمتی در ایران در یک گروه به نام کلی کامیون قرار داده می‌شوند. این گروه جدید شامل ۷۲ درصد وسیله نقلیه سنگین یک قسمتی و ۲۸ درصد وسیله نقلیه سنگین دو قسمتی می‌شود. بنابراین ضریب این گروه نیز از همین نسبت‌ها به دست می‌آید. ضرایب همسنگ سواری محاسبه شده در این مرحله در جدول ۸ آمده است.

جدول ۸. جدول ضریب همسنگ سواری کامیون در ایران

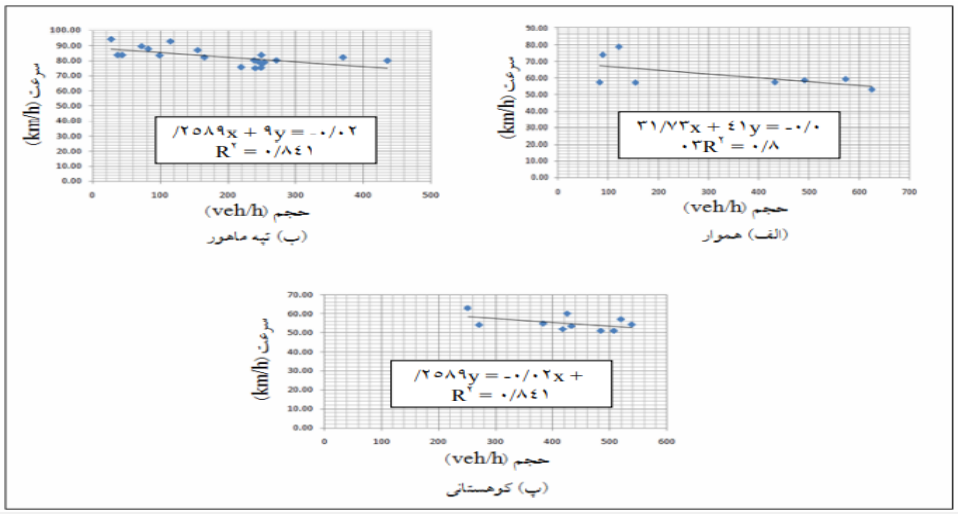
حجم	هموار	تپه ماهور	شیب خاص		
			۳٫۵ تا ٤٫۵ درصد	٤٫۵ تا ۵٫۵ درصد	۵٫۵ تا ٦٫۵ درصد
≤۱۰۰	۱٫۵	۵٫۲	٦٫۵	۰٫۷	۳٫۸
۲۰۰	۱٫٤	۲٫۲	۲٫۵	۵٫٦	۷٫۷
۳۰۰	۱٫۲	۸٫۱	۹٫٤	۳٫٦	۲٫۷
٤۰۰	۱٫۱	۷٫۱	۷٫٤	۹٫۵	۸٫٦
۵۰۰	۱٫۱	۵٫۱	۳٫٤	۷٫۵	۲٫٦
٦۰۰	۱٫۱	٤٫۱	۹٫۳	۲٫۵	۷٫۵
۷۰۰	۱٫۱	٤٫۱	٦٫۳	۹٫٤	۳٫۵
۸۰۰	۱	۳٫۱	۳٫۳	۵٫٤	۰٫۵
≥۹۰۰	۱	۲٫۱	۲٫۳	٤٫٤	۰٫۵

همچنین، با توجه به تفاوت ناوگان حمل و نقل سنگین ایران نسبت به آمریکا، باید پیش از مقایسه بین ضرایب، ابتدا به شکلی ضرایب را معادل سازی کرد. همانطور که در جدول ۷ نشان داده شد، نسبت وسایل نقلیه سنگین در ایران برابر ۲/٦ و در آمریکا ۱/۷۵ است. بنابراین می‌توان برای معادل سازی ناوگان حمل و نقل سنگین ایران به آمریکا از این نسبت استفاده کرد. جدول ۹ نتایج اعمال این نسبت بر ضریب همسنگ را نشان می‌دهد.

جدول ۹. ضریب همسنگ سواری کامیون در ایران با معادل سازی ناوگان

حجم	هموار	تپه ماهور	شیب خاص		
			۳٫۵ تا ۴٫۵ درصد	۴٫۵ تا ۵٫۵ درصد	۵٫۵ تا ۶٫۵ درصد
≤۱۰۰	۹٫۱	۲٫۳	۸٫۴	۱۰٫۴	۱۲٫۴
۲۰۰	۸٫۱	۸٫۲	۷٫۸	۹٫۸	۱۱٫۶
۳۰۰	۶٫۱	۳٫۲	۷٫۴	۹٫۴	۱۰٫۸
۴۰۰	۵٫۱	۲٫۲	۷	۸٫۹	۱۰٫۱
۵۰۰	۵٫۱	۹٫۱	۶٫۴	۸٫۵	۹٫۴
۶۰۰	۴٫۱	۸٫۱	۵٫۹	۷٫۹	۸٫۶
۷۰۰	۴٫۱	۸٫۱	۵٫۴	۷٫۳	۸
۸۰۰	۳٫۱	۶٫۱	۴٫۹	۶٫۸	۷٫۶
≥۹۰۰	۳٫۱	۶٫۱	۴٫۹	۶٫۶	۷٫۵

ضرایب این جدول معادل همسنگ سواری ایران را نشان می‌دهد و ضرایب پیشنهادی آیین‌نامه ظرفیت راه‌ها معادل همسنگ سواری آمریکاست. عملکرد و سرعت وسایل نقلیه سواری در ایران و آمریکا مشابه هم نیست و میان آنها تفاوت زیادی وجود دارد می‌توان گفت همسنگ سواری ایران» و «همسنگ سواری آمریکا به شکلی واحد اندازه‌گیری معادل سواری در هر یک از این دو کشور هستند. بنابراین، هنوز امکان مقایسه مستقیم میان ضرایب ایران و آمریکا وجود ندارد. برای انجام این مقایسه ابتدا باید یکی از این دو واحد به دیگری تبدیل شود به بیان دیگر باید محاسبه شود که یک وسیله نقلیه سبک در ایران معادل چند وسیله نقلیه سبک در آمریکاست و یا به بیان دیگر همسنگ سواری ایران نسبت به آمریکا» محاسبه شود. برای محاسبه این ضریب از رابطه اختلاف سرعت استفاده می‌شود بنابراین باید مانند بخش پیش ابتدا نمودار سرعت جریان به کمک اطلاعات موجود در فیلم‌های برداشتی ترسیم شود. با این تفاوت که در این قسمت نمودار سرعت جریان در یک جریان کاملاً سواری ترسیم می‌شود. شکل ۱۰ این نمودارها را در شرایط توپوگرافی مختلف نشان می‌دهد.



شکل ۱۰. نمودار سرعت – جریان در جریان کاملاً سواری در مناطق توپوگرافی مختلف

با توجه به نمودارهای شکل ۱۰ روابط همسنگ سواری در هر یک از مناطق توپوگرافی مطابق جدول ۱۰ محاسبه می‌شود.

به این ترتیب ضریب همسنگ همسنگ سواری در مناطق مختلف به دست می‌آید. جدول ۱۱ ضرایب همسنگ سواری را نشان می‌دهد.

جدول ۱۰. همسنگ سواری در مناطق توپوگرافی مختلف

توپوگرافی	رابطه
هموار	$E = \frac{P_T(V\|F_G) + ((ATS_{US} - ATS_{IR})/-0.029)}{P_T(V\|f_G)}$
تپه ماهور	$E = \frac{P_T(V\|F_G) + ((ATS_{US} - ATS_{IR})/-0.041)}{P_T(V\|f_G)}$
کوهستانی	$E = \frac{P_T(V\|F_G) + ((ATS_{US} - ATS_{IR})/-0.02)}{P_T(V\|f_G)}$

جدول ۱۱. ضریب همسنگ همسنگ سواری در ایران نسبت به آمریکا در شرایط توپوگرافی متفاوت

حجم	هموار	تپه ماهور	شیب خاص		
			۳٫۵ تا ٤٫۵ درصد	٤٫۵ تا ۵٫۵ درصد	۵٫۵ تا ٦٫۵ درصد
≤۱۰۰	۰٫۹	۰٫۹	۸	۷	۷
۲۰۰	۰٫۹	۰٫۹	۸	۸	۷
۳۰۰	۱	۱	۸	۸	۸
٤۰۰	۱	۱	۹	۹	۸
۵۰۰	۱	۱	۹	۹	۹
٦۰۰	۱	۱	۹	۹	۹
۷۰۰	۱	۱	۱	۱	۱
۸۰۰	۱	۱	۱	۱	۱
≥۹۰۰	۱	۱	۱	۱	۱

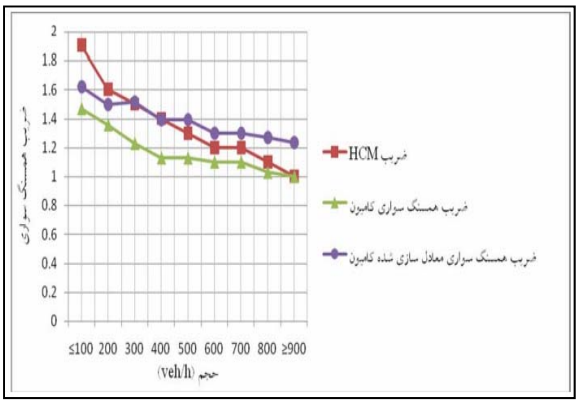
جدول ۱۱ نشان می‌دهد که عملکرد و سرعت وسایل نقلیه سبک در ایران و آمریکا تنها در حجم‌های خیلی پایین تفاوت کمی با یکدیگر دارند و با افزایش حجم و افزایش تاثیر سایر وسایل نقلیه سبک در جریان ترافیک این اختلاف کمتر می‌شود، همچنین با افزایش میزان شیب عملکرد ضعیف‌تر وسایل نقلیه سبک در ایران باعث افزایش ضریب همسنگ همسنگ می‌شود در این شرایط نیز افزایش حجم کاهش ضریب همسنگ را به دنبال دارد.

اکنون با ضرب نتایج جدول ۹ در نتایج جدول ۱۱ ضرایب همسنگ سواری کامیون در ایران با ضرایب همسنگ سواری آمریکا معادل سازی شده و امکان مقایسه مستقیم ایجاد می‌شود. در واقع با انجام این عملیات می‌توان دریافت که هر وسیله نقلیه سنگین در ایران معادل چند وسیله نقلیه سبک در آمریکا عمل می‌کند. جدول ۱۲ نتایج این حاصل ضرب را نشان می‌دهد.

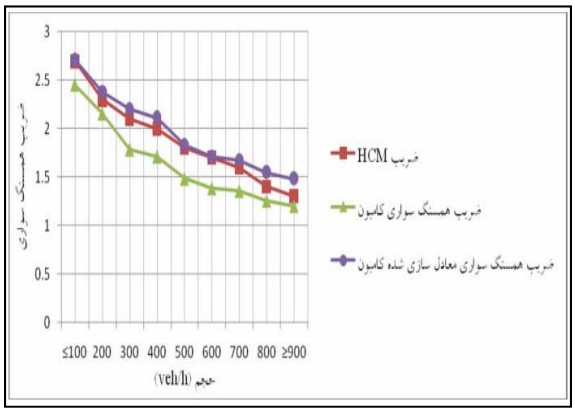
در شکل ۱۱ ضرایب همسنگ سواری محاسبه شده در این فرآیند را با ضرایب آیین‌نامه ظرفیت راه‌ها در شرایط هموار مقایسه شده‌اند.

جدول ۱۲. ضریب همسنگ سواری معادل سازی شده کامیون در شرایط توپوگرافی متفاوت

حجم	هموار	تپه ماهور	شیب خاص		
			۳٫۵ تا ٤٫۵ درصد	٤٫۵ تا ۵٫۵ درصد	۵٫۵ تا ٦٫۵ درصد
≤۱۰۰	٦٫۱	۷٫۲	۷٫٦	٦٫۷	۵٫۸
۲۰۰	۵٫۱	٤٫۲	۳٫٦	٦٫۷	۳٫۸
۳۰۰	٤٫۱	۲٫۲	۹٫۵	۵٫۷	۲٫۸
٤۰۰	٤٫۱	۱٫۲	۹٫۵	۵٫۷	۹٫۷
۵۰۰	٤٫۱	۸٫۱	٦٫۵	۳٫۷	۰٫۸
٦۰۰	٤٫۱	۷٫۱	۳٫۵	۲٫۷	۸٫۷
۷۰۰	٤٫۱	۷٫۱	۳٫۵	۲٫۷	۸٫۷
۸۰۰	۳٫۱	٦٫۱	۹٫٤	٦٫٦	۵٫۷
≥۹۰۰	۲٫۱	۵٫۱	۹٫٤	٦٫٦	۵٫۷

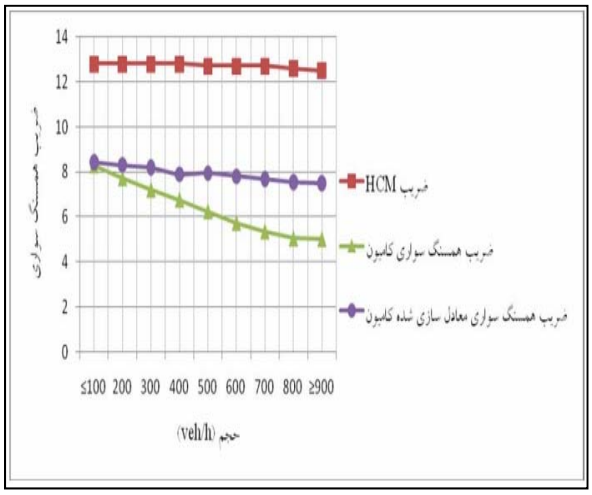


شکل ۱۱. مقایسه ضریب همسنگ سواری کامیون و ضریب همسنگ سواری معادل سازی شده کامیون با ضرایب HCM در شرایط هموار

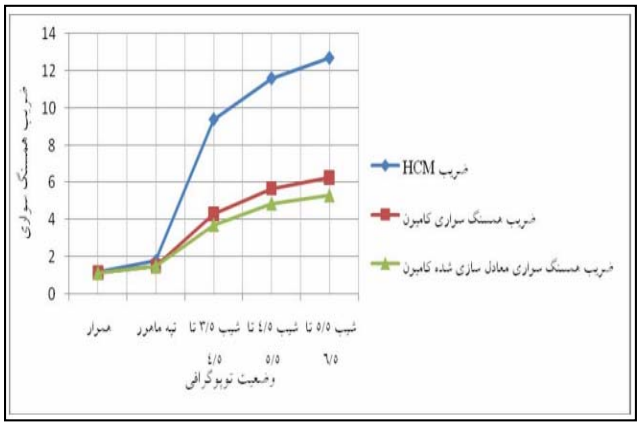


شکل ۱۲. مقایسه ضریب همسنگ سواری کامیون و ضریب همسنگ سواری معادل سازی شده کامیون با ضرایب HCM در شرایط تپه ماهور

شکل ۱۱ نشان می‌دهد که در شرایط هموار تنها تفاوت اندکی میان عملکرد وسایل نقلیه سنگین در ایران و آمریکا وجود دارد ضریب همسنگ سواری کامیون در ایران در شرایط هموار در حجم‌های پایین کمتر از ضرایب پیشنهادی آیین‌نامه ظرفیت راه‌هاست با افزایش حجم ضرایب محاسبه شده کشور از ضرایب آیین‌نامه ظرفیت راه‌ها بیشتر می‌شود با افزایش حجم وسایل نقلیه سنگین در آمریکا تاثیری در عملکرد ترافیک ندارند اما در ایران با افزایش حجم شاهد کاهش تاثیر وسایل نقلیه سنگین هستیم. اما هنوز این وسایل بر عملکرد ترافیک تاثیرگذارند. در شکل ۱۲ این ضرایب در شرایط تپه ماهور با یکدیگر مقایسه شده‌اند. در این شرایط توپوگرافی نیز در حجم‌های بالا میزان ضریب همسنگ سواری ایران از ضرایب آمریکا بیشتر می‌شود از این نمودار می‌توان نتیجه گرفت که در شرایط توپوگرافی تپه ماهور عملکرد وسایل نقلیه سنگین در ایران و آمریکا و میزان تاثیری که این وسایل بر عملکرد و سرعت وسایل نقلیه سواری می‌گذارند، تقریباً یکسان است افزایش میزان شیب بر عملکرد وسایل نقلیه سنگین تاثیر مستقیم می‌گذارد. میزان این تاثیر با وزن وسیله نقلیه سنگین میزان بارگیری و سایر مشخصات وسیله نقلیه سنگین رابطه مستقیم دارد. میزان این تاثیر در وسایل نقلیه ایران و آمریکا مشابه نخواهد بود، بنابراین به سادگی می‌توان نتیجه گرفت میزان اختلاف ضریب همسنگ سواری با افزایش شیب بیشتر می‌شود. شکل ۱۳ ضرایب همسنگ سواری کامیون را در ایران و آمریکا مقایسه کرده است.



شکل ۱۳. مقایسه ضریب همسنگ سواری کامیون و ضریب همسنگ سواری معادل سازی شده کامیون با ضرایب HCM در شیب ۵/۵ تا ۵/٦ درصد



شکل ١٤. ضرایب همسنگ سواری کامیون در ایران و آیین نامه ظرفیت راه ها در شیب های مختلف و حجم کمتر از ۵۰۰ وسیله نقلیه در ساعت

بررسی نمودارها و جداول نشان می‌دهد که با افزایش میزان شیب اختلاف میان ضرایب همسنگ‌سواری بیشتر می‌شود. در شکل ١٤ ضریب همسنگ سواری با ضریب HCM مقایسه شده‌اند. این ضرایب مربوط به حجم کمتر از ۵۰۰ وسیله‌نقلیه در ساعت می‌باشد. همانطور که در این نمودار نشان داده شده میزان افزایش ضریب همسنگ سواری در کشور آمریکا نسبت به ایران با افزایش شیب بیشتر است. ابعاد کوچکتر وسایل نقلیه سنگین در ایران و میزان بارگیری کمتر از ظرفیت در کشورمان باعث می‌شود این وسایل نقلیه با افزایش شیب انسداد کمتری نسبت به وسایل نقلیه سنگین کشور آمریکا در جریان ترافیک ایجاد کنند، این امر موجب می‌شود با افزایش شیب، تفاوت میان ضریب محاسبه شده و ضرایب HCM بیشتر شود.

۳-۵- نتایج ضرایب همسنگ سواری

جدول ۱۳ نتایج ضرایب همسنگ سواری را برای انواع وسایل نقلیه سنگین در مناطق هموار نشان می‌دهد. در این جدول ضرایب پیشنهادی آیین نامه ظرفیت راه‌ها در کنار ضرایب ایران نشان داده شده است.

جدول ۱۳. نتایج ضریب همسنگ سواری برای شرایط هموار

حجم	ضریب HCM	یک قسمتی	دو قسمتی	کامیون دو محور سبک و مینی بوس	کامیون دو و سه محور	اتوبوس	کامیون چهار محور و بالاتر
≤۱۰۰	۱,۹	۱,۳	۱,۹	۱,۳	۱,٦	۱,٦	۱,۹
۲۰۰	۱,۵	۱,۳	۱,۵	۱,۲	۱,٤	۱,۳	۱,۵
۳۰۰	۱,٤	۱,۲	۱,۳	۱,۲	۱,۳	۱,۲	۱,۳
٤۰۰	۱,۳	۱,۱	۱,۲	۱,۱	۱,۲	۱,۱	۱,۲
۵۰۰	۱,۲	۱,۱	۱,۲	۱,۱	۱,۱	۱,۱	۱,۲
٦۰۰	۱,۱	۱,۱	۱,۱	۱,۱	۱,۱	۱,۱	۱,۱
۷۰۰	۱,۱	۱,۱	۱,۱	۱,۱	۱,۱	۱	۱,۱
۸۰۰	۱,۱	۱	۱,۱	۱	۱,۱	۱	۱,۱
≥۹۰۰	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱

همانطور که در جدول ملاحظه می‌شود ضرایب همسنگ سواری برای انواع وسایل نقلیه در شرایط هموار تفاوت چندانی با یکدیگر نداشته و بنابراین عملکرد انواع وسایل نقلیه سنگین و میزان انسدادی که این وسایل در جریان ترافیک ایجاد می‌کنند تقریباً مشابه یکدیگر است. در حجم‌های کمتر از ۵۰۰ وسیله نقلیه در ساعت کامیون دو محور سبک و مینی بوس کمترین و کامیون چهار محور به بالا بیشترین ضریب را دارا می‌باشند و به صورت کلی ضرایب به دست آمده از ضرایب آیین‌نامه ظرفیت

راه‌ها کمتر است. اما با افزایش حجم جریان ترافیک نمودارها به سمت هم‌همگرا می‌شوند. در جدول ١٤ ضرایب همسنگ سواری برای انواع وسایل نقلیه سنگین در شرایط تپه ماهور نشان داده شده است.

در مناطق تپه ماهور به ترتیب کامیون دو محور سبک و مینی‌بوس اتوبوس کامیون دو و سه محور و در انتها کامیون چهار محور به بالا شاهد افزایش ضریب همسنگ سواری هستیم اختلاف میان ضرایب همسنگ در انواع وسایل نقلیه و اختلاف میان آن‌ها و ضریب HCM با افزایش حجم کمتر می‌شود.

بنابراین می‌توان نتیجه گرفت با افزایش میزان حجم در جریان ترافیک میزان انسداد انواع وسایل نقلیه در جریان ترافیک مشابه می‌شود و میزان اختلاف سرعت میان هر یک از انواع وسایل نقلیه سنگین با وسایل سواری یکسان می‌شود. با افزایش شیب میزان اختلاف میان ضرایب محاسبه شده برای ایران و ضرایب پیشنهادی آیین‌نامه ظرفیت راه‌ها بیشتر می‌شود. جدول ۱۵ ضرایب همسنگ سواری انواع وسایل نقلیه سنگین را در شیب‌های ۵/۵ تا ٦/٦ درصد نشان می‌دهد.

جدول ١٤. نتایج ضریب همسنگ سواری برای شرایط تپه ماهور

حجم	ضریب HCM	یک قسمتی	دو قسمتی	کامیون دو محور سبک و مینی بوس	کامیون دو و سه محور	اتوبوس	کامیون چهار محور و بالاتر
≤۱۰۰	۲,۷	۲,٤	۲,٦	۲,۲	۲,٤	۲,۳	۲,٦
۲۰۰	۲,۳	۲,۱	۲,۳	۱,۹	۲	۱,۷	۲
۳۰۰	۲,۱	۱,۷	۲	۱,۵	۲	۱,۷	۲
٤۰۰	۲	۱,٦	۲	۱,٤	۱,٦	۱,٦	۲
۵۰۰	۱,۸	۱,٤	۱,۷	۱,۳	۱,٤	۱,٤	۱,۷
٦۰۰	۱,۷	۱,۳	۱,٦	۱,۲	۱,٤	۱,۳	۱,٦
۷۰۰	۱,٦	۱,۳	۱,۵	۱,۲	۱,۳	۱,۳	۱,۵
۸۰۰	۱,٤	۱,۲	۱,٤	۱,۲	۱,۳	۱,۲	۱,٤
≥۹۰۰	۱,۳	۱,۲	۱,۲	۱,۱	۱,۲	۱,۲	۱,۲

جدول ۱۵. نتایج ضریب همسنگ سواری برای شرایط خاص شیب ۵/۵ تا ٦/٦

حجم	ضریب HCM	یک قسمتی	دو قسمتی	کامیون دو محور سبک و مینی بوس	کامیون دو و سه محور	اتوبوس	کامیون چهار محور و بالاتر
≤۱۰۰	۱۲,۸	۷,۷	۹,۸	۵,۹	۷	٦,٦	۹,۸
۲۰۰	۱۲,۸	۷,۱	۹,۳	۵,۲	٦,۹	۵,٦	۹,۳
۳۰۰	۱۲,۸	٦,۷	۸,۵	۵	٦,٦	۵,۲	۸,۵
٤۰۰	۱۲,۸	٦,۲	۸,۲	٤,۹	٦	۵	۸,۲
۵۰۰	۱۲,۸	۵,۸	۷,٤	٤,۸	۵,۵	٤,۸	۷,٤
٦۰۰	۱۲,۸	۵,۲	۷,۱	٤,۳	۵,۱	٤,۵	۷,۱
۷۰۰	۱۲,۸	٤,۹	٦,۵	٤	٤,۷	٤,۱	٦,۵
۸۰۰	۱۲,٦	٤,۷	۵,۹	۳,۸	٤,۵	۳,۹	۵,۹
≥۹۰۰	۱۲,۵	٤,۷	۵,۸	۳,۸	٤,۵	۳,۹	۵,۸

جدول ۱۵ نشان می‌دهد که بیشترین و کمترین میزان اختلاف میان ضرایب به ضرایب به ترتیب مربوط به کامیون دو محور و سبک و مینی بوس و کامیون چهار محور به بالا یا وسایل نقلیه سنگین دو قسمتی می‌باشد. بر خلاف مناطق هموار و تپه ماهوری این اختلاف با افزایش حجم بیشتر می‌گردد.

٤- ضرایب همسنگ سواری

پس از کالیبراسیون روابط موجود با توجه به شرایط کشور به کمک آمار و اطلاعات برداشتی از راه‌ها دو خطه کشور، برای افزایش دقت ضرایب محاسبه شده در شیب‌های متفاوت خصوصاً در شیب‌های بالا، از یک سری آمار فرضی استفاده شده است. به این ترتیب که در شرایط توپوگرافی هموار، در ۹ حجم متفاوت (۵۰، ۱۵۰، ۲۵۰، ۳۵۰، ۱۵۰، ۷۵۰،۲۵۰،۵۵۰، و ۸۵۰ وسیله نقلیه در ساعت با درصدهای متفاوت حضور وسایل نقلیه ۵، ۱۰، ۱۵، ۲۰ ،۲۵،۳۰، ۳۵ و ٤٠ درصد) و اختلاف سرعت‌های متفاوت در مجموع ٦٤٨ آمار فرضی استفاده شده است.

در شرایط توپوگرافی تپه ماهور در ۹ حجم متفاوت۵۰، ۱۵۰ ۲۵۰ ۳۵۰ ، ۵۵۰، ٦٥٠، ۷۵۰ و ۸۵۰ وسیله نقلیه در ساعت با درصدهای متفاوت حضور وسایل نقلیه ، ۵، ۱۰، ۱۵، ۲۰، ۲۵، ۳۰، ۳۵ و ٤٠ درصد) و اختلاف سرعت‌های متفاوت در مجموع ۳۲٤ آمار فرضی استفاده شده است. در شیب‌های خاص در شیب‌های متفاوت و در ۹ حجم متفاوت (۵۰، ۱۵۰، ۲۵۰ ۳۵۰، ٤٥٠، ۵۵۰ ٦٥٠، ۷۵۰ و ۸۵۰ وسیله نقلیه در ساعت با درصدهای متفاوت حضور وسایل نقلیه ۵، ۱۰، ۱۵، ۲۰، ۲۵، ۳۰، ۳۵ و ٤٠ درصد) و اختلاف سرعت‌های متفاوت در مجموع ۱۲٦۹ آمار فرضی استفاده شده است. در برخی موارد برای تکمیل جداول در شیب‌های خاص از درون یابی نیز استفاده می‌شود. به صورت کلی می‌توان نتیجه‌گیری کرد که ضریب همسنگ سواری کامیون دو محور سبک و مینی‌بوس کمترین میزان ضرایب را در میان وسایل نقلیه سنگین دارد. پس از آن به ترتیب در گروه‌های اتوبوس، کامیون دو و سه محور وسایل نقلیه یک قسمتی وسایل نقلیه سنگین در قمستی و کامیون چهار محور به بالا ضرایب بیشتر می‌شود این ترتیب در شرایط توپوگرافی متفاوت، شیب‌های متفاوت و حجم‌های مختلف رعایت شده است.

از طرف دیگر همان طور که گفته شد ضرایب همسنگ سواری در ایران از ضرایب پیشنهادی آیین نامه ظرفیت راه‌ها کمتر است و میزان این تفاوت با افزایش شیب بیشتر می‌شود. عمر ناوگان حمل و نقل سنگین در کشور حضور برخی وسایل نقلیه سنگین در محورهای ایران که در بسیاری از کشورهای پیشرفته خصوصاً آمریکا از رده خارج محسوب می‌شوند، تفاوت در میزان تناژ بارگیری حرکت وسایل نقلیه سنگین به صورت یکسر بار ابعاد کوچکتر وسایل نقلیه سنگین در ایران نسبت به آمریکا و مواردی از این قبیل باعث تفاوت‌های اساسی در عملکرد و خصوصاً سرعت وسایل نقلیه در ایران و ایالات متحده می‌باشد. این امر تاثیر کمتر عملکرد وسایل نقلیه سنگین بر عملکرد کلی ترافیک در راه‌های دو خطه می‌شود. در حقیقت این عوامل باعث می‌شود که این وسایل در ایران انسداد کمتری در جریان ترافیک نسبت به این وسایل در آمریکا ایجاد می‌کنند.

از طرف دیگر ویژگی‌های رفتاری رانندگان وسایل نقلیه سواری و سنگین در رانندگی در سرعت‌های بالا، عدم رعایت قوانین راهنمایی و رانندگی و حقوق سایر رانندگان پذیرفتن سرفاصله‌های کمتر و همچنین، پارامترهایی چون نرخ سبقت از علل اصلی این تفاوت میان ضرایب می‌باشد. در پایان ضرایب همسنگ سواری انواع وسایل‌نقلیه سنگین در شیب‌های مختلف ارائه شده است (جداول ١٦-١٨).

جدول ١٦. ضریب همسنگ سواری در شرایط هموار

حجم یک جهتی (vph)	یک قسمتی	دو قسمتی
≤۱۰۰	۱,۳	۱,۹
۲۰۰	۱,۳	۱,۵
۳۰۰	۱,۱	۱,۳
٤۰۰	۱,۱	۱,۲
۵۰۰	۱,۱	۱,۲
٦۰۰	۱,۱	۱,۱
۷۰۰	۱,۱	۱,۱
۸۰۰	۱	۱,۱
≥۹۰۰	۱	۱

جدول ۱۷. ضریب همسنگ سواری در شرایط هموار

حجم	کامیون دو محور سبک و مینی بوس	کامیون دو و سه محور	اتوبوس	کامیون چهار محور و بالاتر
≤۱۰۰	۱,۳	۱,٦	۱,٦	۱,۹
۲۰۰	۱,۲	۱,٤	۱,۳	۱,٥
۳۰۰	۱,۲	۱,۳	۱,۲	۱,۳
٤۰۰	۱,۱	۱,۲	۱,۱	۱,۲
٥۰۰	۱,۱	۱,۱	۱,۱	۱,۲
٦۰۰	۱,۱	۱,۱	۱,۱	۱,۱
۷۰۰	۱,۱	۱,۱	۱	۱,۱
۸۰۰	۱	۱,۱	۱	۱,۱
≥۹۰۰	۱	۱	۱	۱

جدول ۱۸. ضریب همسنگ سواری در شرایط تپه ماهور

حجم یک جهتی (vph)	یک قسمتی	دو قسمتی
≤۱۰۰	۲,٤	۲,٦
۲۰۰	۲,۱	۲,۳
۳۰۰	۱,۷	۲
٤۰۰	۱,٦	۲
٥۰۰	۱,٤	۱,۷
٦۰۰	۱,۳	۱,٦
۷۰۰	۱,۳	۱,٥
۸۰۰	۱,۲	۱,٤
≥۹۰۰	۱,۲	۱,۲

جدول ۱۹. ضریب همسنگ سواری در شرایط تپه ماهور

حجم	کامیون دو محور سبک و مینی بوس	کامیون دو و سه محور	اتوبوس	کامیون چهار محور و بالاتر
≤۱۰۰	۲,۲	۲,٤	۲,۳	۲,٦
۲۰۰	۱,۹	۲	۱,۹	۲,۳
۳۰۰	۱,٥	۲	۱,۷	۲
٤۰۰	۱,٤	۱,٦	۱,٦	۲
٥۰۰	۱,۳	۱,٤	۱,٤	۱,۷
٦۰۰	۱,۲	۱,٤	۱,۳	۱,٦
۷۰۰	۱,۲	۱,۳	۱,۳	۱,٥
۸۰۰	۱,۲	۱,۳	۱,۲	۱,٤
≥۹۰۰	۱,۱	۱,۲	۱,۲	۱,۲

۵- نتیجه‌گیری

مقایسه ضرایب به دست آمده از دو روش نشان داد که اختلاف میان این ضرایب تنها در شیب‌ها و حجم‌های بالا مشاهده می‌شود و این اختلاف عمدتاً محدود به یک یا دو وسیله نقلیه سنگین می‌باشد و در سایر موارد میزان تفاوت قابل قبول می‌باشد. به بیان دیگر هر کدام از روش‌ها ضرایب محاسبه شده به روش دیگر را تایید می‌کنند. از طرف دیگر روش اختلاف سرعت ضرایب همسنگ سواری را در ۹ گروه حجمی پیشنهاد می‌کند. این امر میزان دقت را در محاسبات آینده که از این ضرایب استفاده می‌کنند بالاتر می‌برد. که این مسئله نیز به نوبه خود باعث صرفه جویی در منابع مالی و زمان می.شود. همچنین رابطه اختلاف سرعت از پارامترهای متعدد موثر برای افزایش اطمینان و دقت در استفاده کرده است. به کارگیری روابط سرعت حجم در مناطق توپوگرافی مختلف نیز از دیگر نقاط قوت این روش به شمار می‌رود. در روش سرفاصله ضرایب تنها بر اساس

یک نسبت تعیین می‌شوند و در نتیجه میزان انسدادی که وسایل نقلیه سنگین در جریان ترافیک ایجاد می‌کنند به خوبی برآورد نمی‌شود، همچنین ارائه نتایج در دو گروه نیز میزان دقت مطالعات آتی را کاهش می‌دهد با توجه به مطالب گفته شده ضرایب محاسبه شده به وسیله روش اختلاف سرعت به عنوان ضرایب همسنگ سواری در راه‌های دوخطه کشور پذیرفته می‌شوند. به صورت کلی می‌توان نتیجه‌گیری کرد که ضریب همسنگ سواری کامیون دو محور سبک و مینی بوس کمترین میزان ضرایب را در میان وسایل نقلیه سنگین دارد.

ضرایب همسنگ سواری در ایران از ضرایب پیشنهادی آیین نامه ظرفیت راه‌ها کمتر است و میزان این تفاوت با افزایش شیب بیشتر می‌شود. علل تفاوت در ضرایب ایران باHCM :

–ناوگان حمل و نقل فرسوده و از رده خارج

–تفاوت در میزان تناژ بارگیری وسایل نقلیه

–ابعاد کوچکتر

عوامل فوق باعث تفاوت‌های اساسی در عملکرد این وسایل و در نتیجه تاثیر کمتر عملکرد وسایل نقلیه سنگین بر عملکرد کلی ترافیک در راه‌های دو خطه می‌شود و در نتیجه این وسایل در ایران انسداد کمتری در جریان ترافیک نسبت به سایر کشورها ایجاد می‌کنند. ویژگی‌های رفتاری رانندگان وسایل نقلیه سواری و سنگین در رانندگی در سرعت‌های بالا، عدم رعایت قوانین راهنمایی و رانندگی و حقوق سایر رانندگان و همچنین، پارامترهایی چون نرخ سبقت از علل اصلی این تفاوت میان ضرایب می‌باشد.

٦- مراجع

-Abdi, A., Mosadeq, Z., & Bigdeli Rad, H. (2020). Prioritizing Factors Affecting Road Safety Using Fuzzy Hierarchical Analysis. *Journal of Transportation Research,* 17(3), 33-44.

-Adnan, M. (2014). Passenger car equivalent factors in heterogenous traffic environment-are we using the right numbers? *Procedia Engineering*, 77, 106-113.

-Afandizadeh Zargari, S., Bigdeli Rad, H., & Shaker, H. (2019). Using optimization and metaheuristic method to reduce the bus headway (Case study: Qazvin Bus Routes). *Quarterly Journal of Transportation Engineering,* 10(4), 833-849.

-Afandizadeh, S., & Bigdeli Rad, H. (2021). Developing a model to determine the number of vehicles lane changing on freeways by Brownian Motion Method. *Nonlinear Engineering*, 10(1), 450-460.

-Afandizadeh, S., Aziz Jalali, D., & Bigdeli Rad, H. (2023). Optimal routing for shared autonomous vehicles feeder services in urban networks. *Journal of Transportation Research.*

-Ahmed, A., Noman, S. M., Baig, M. A. U., Ngoduy, D., Adnan, M., Ismail, M. A., & Qadir, A. (2022). Estimating passenger car equivalent factors for heterogeneous traffic using occupancy-density linear regression model. *Transportation Research Record,* 2676(8), 209-220.

-Ameri, A., Bigdeli Rad, H., Shaker, H., & Ameri, M. (2021). Cellular Transmission and Optimization Model Development to Determine the Distances between Variable Message Signs. *Journal of Transportation Infrastructure Engineering,* 7(1), 1-16.

-Behzadi, G., & Shakibaei, F. (2016). Determination of passenger car equivalent for Bus in urban roads using AIMSUN *(Case Study: Emam Reza Avenue, Amol City).*

-Bouhouras, E., & Basbas, S. (2021). Passenger Car Equivalent Value for Commercial Vehicles: A New Approach. *Periodica Polytechnica Transportation Engineering,* 49(4), 354-358.

-De Luca, M., & Dell'Acqua, G. (2014). Calibrating the passenger car equivalent on Italian two line highways: a case study. *Transport,* 29(4), 449-456.

-Elefteriadou, L., Torbic, D., & Webster, N. (1997). Development of passenger car equivalents for freeways, two-lane highways, and arterials. *Transportation Research Record,* 1572(1), 51-58.

-Mirzahossein, H., Shahrad, S., Afandizadeh Zargari, S., & Motevalli Habibi, H. (2021). Determination of Passenger Car Equivalent for Heavy Vehicles in Iran in Comparison with Highway Capacity Manual 2016. *Iranian Journal of Science and Technology, Transactions of Civil Engineering*, 1-11.

-Sarraj, Y., & Jadili, I. (2016). Estimating passenger car unit factors for buses and animal driven carts in Gaza City, Palestine. *IUG Journal of Natural Studies,* 20(2).

-Sharma, M., & Biswas, S. (2021). Estimation of Passenger Car Unit on urban roads: A literature review. *International Journal of Transportation Science and Technology,* 10(3), 283-298.

-Zahiri, M., & Chen, X. (2018). Measuring the passenger car equivalent of small cars and SUVs on rainy and sunny days. *Transportation Research Record,* 2672(31), 110-119.

-Hajisoleimani, M. M., Abdi, A., & Bigdeli Rad, H. (2021). Intermodal Non-Motorized Transportation Mode Choice; Case Study: Qazvin City. *Space Ontology International Journal,* 10(3), 31-46.

-Hurtado-Beltran, A., & Rilett, L. R. (2021). Impact of CAV truck platooning on HCM-6 capacity and passenger car equivalent values. Journal of Transportation Engineering, *Part A: Systems,* 147(2), 04020159.

-Kollar, A. (2014). The supervision of passenger car unit values in different types of urban junctions with VISSIM program. *Pollack Periodica,* 9(1), 49-60.

-Li, H., Zhou, Y., Li, S., & Zhu, H. (2019). Passenger car equivalents for urban roads using average time headway of car following conditions. *Advances in Mechanical Engineering*, 11(12), 1687814019897511.

-Macioszek, E. (2019). The passenger car equivalent factors for heavy vehicles on turbo roundabouts. *Frontiers in Built Environment,* 5, 68.

Analysis of Effective Indicators and Determination of Different Passenger Car Equivalent in the Main Roads of Iran

Shahriar Afandizadeh, Professor, School of Civil Engineering, Iran University of Science and Technology, Tehran, Iran.

Kiomars Mohammadi, M.Sc., Student, Islamic Azad University, Science and Research Branch, Tehran, Iran.

Hamid Bigdeli Rad, Ph.D., Candidate, School of Civil Engineering, Iran University of Science and Technology, Tehran, Iran.

E-mail: zargari@iust.ac.ir

Received: February 2024- Accepted: June 2024

ABSTRACT

Millions Of Vehicles Are Moving on The Roads Worldwide, And Billions of Dollars Are Spent Each Year to Meet Transportation Needs as The Main Artery of The World Economy Today. The Role of The Road And, Consequently, Asphalt as A Factor in Accelerating Movement and Reducing Depreciation Costs Is Undeniable. The Investigation of Various Methods Used to Determine the Passenger Car Equivalent (PCE) Indicates That Most of These Methods Are Focused on Traffic Characteristics Affected by The Presence of Heavy Vehicles. The Most Important of These Parameters Are Traffic Speed and The Formation of a Group of Vehicles Along the Route, The Speed of Heavy Vehicles, Especially on Steep Slopes, The Dimensions of Vehicles, And the Manoeuvring Capabilities of These Vehicles in Reducing and Increasing Slope, Which Are Among the Parameters Used in Determining The PCE. This Study Aims to Analyse Effective Indicators and Determine the PCE Of Various Vehicles on The Main Roads of The Country. The Results Show That the PCE For Two-Axle Trucks and Minibuses Have the Lowest Coefficients Among Heavy Vehicles. After That, The Coefficients Increase in The Order of Buses, Two- And Three-Axle Trucks, Some Vehicles, Two-Part Heavy Vehicles, And Four-Axle Trucks and Above. This Order Has Been Observed in Different Topographic Conditions, Different Slopes, And Different Volumes.

Keywords: Passenger Car Equivalent (PCE), Transportation, Main Road, Road Capacity