ارزیابی مقایسه‌ای ضرایب همسنگ سواری وسایل نقلیه سنگین در راه‌های دوخطه دو طرفه ایران بر اساس روش‌های اختلاف سرعت و سرفاصله وسایل نقلیه

بهنام امینی*، استادیار، دانشکدهٔ فنی و مهندسی، دانشگاه بین‌المللی امام خمینی، قزوین، ایران
شروین شهراد، دانش‌آموختهٔ کارشناسی‌ارشد، دانشکدهٔ فنی و مهندسی، دانشگاه بین‌المللی امام خمینی، قزوین، ایران
E-mail: bamini@ikiu.ac.ir
دریافت: ۱۳۹۱/۰٤/۱٤- پذیرش: ۱۳۹۱/۰۹/۰٦

چکیده

بخش عمده‌ای از راه‌های کشور به صورت جاده‌های دو خطه دو طرفه است. ظرفیت این راه‌ها یک پارامتر مهم در طراحی و بهره‌برداری آنهاست. حضور وسایل نقلیه سنگین باعث ایجاد تغییرات شدیدی در ظرفیت و سطح سرویس این راه‌ها، به‌خصوص در شیب می‌شود. به منظور اعمال تأثیر این قبیل وسایل نقلیه از مفهوم همسنگ سواری استفاده می‌شود. خصوصیات فیزیکی و عملکردی وسایل نقلیه سنگین، ویژگی‌های هندسی و ترافیکی مسیر و ویژگی‌های رفتاری رانندگان از عوامل اصلی مؤثر در میزان ضریب همسنگ سواری می‌باشند. هدف از این تحقیق، تعیین ضرایب همسنگ سواری وسایل نقلیه سنگین در راه‌های دوخطه دو طرفه ایران و ارزیابی مقایسه‌ای آنها بر اساس روش‌های اختلاف سرعت و سرفاصله بوده است. در این راستا، گروه‌بندی خاص برای وسایل نقلیه پیشنهاد شده و ضریب همسنگ سواری به دو روش اختلاف سرعت و روش سرفاصله محاسبه و نتایج با یکدیگر مقایسه شده‌اند. 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 راه‌ها کمتر است و میزان این تفاوت با افزایش شیب بیشتر می‌شود. با استفاده از ضرایب همسنگ سواری پیشنهادی، امکان ارزیابی دقیق‌تر ظرفیت و سطح خدمت راه‌های دوخطه دو طرفه میسر می‌شود که نقش بسزایی در بهبود روش‌های برنامه‌ریزی، طراحی و مدیریت این راه‌ها ایفا می‌کند.

واژه‌های کلیدی: راه‌های دوخطه، وسیله نقلیه سنگین، همسنگ سواری

۱- مقدمه

بخش عمده‌ای از راه‌های کشور به صورت جاده‌های دو خطه دو طرفه است. ظرفیت این راه‌ها یک عامل مهم در طراحی و بهره‌برداری آنهاست. حضور وسایل نقلیه سنگین باعث تغییرات شدیدی در ظرفیت و سطح سرویس این راه‌ها، به‌خصوص در شیب می‌شود. به منظور اعمال تأثیر این قبیل وسایل نقلیه از مفهوم همسنگ سواری استفاده می‌شود. با وجود نسبت پایین حضور وسایل نقلیه سنگین در جریان ترافیک، ظرفیت و سطح سرویس راه به‌شدت به عملکرد این نوع وسایل نقلیه و تأثیر آنها بر عملکرد کلی جریان ترافیک حساس است. به منظور اعمال تأثیر این گروه از وسایل نقلیه بر کیفیت سرویس و ظرفیت راه از مفهوم همسنگ سواری استفاده می‌شود. مفهوم همسنگ سواری عبارت است از: تعداد وسایل نقلیه سواری که می‌توان در جریان ترافیک با یک وسیله نقلیه سنگین جایگزین کرد، بدون این‌که تغییری در سایر پارامترهای عملکردی جریان، ایجاد شود.

* نویسنده مسئول

Archive of SID
www.SID.ir

عوامل مختلفی در تعیین ضرایب همسنگ سواری نقش دارند. این عوامل را می‌توان به چهار گروه اصلی ویژگی‌های وسایل نقلیه سنگین، هندسه مسیر، ویژگی‌های ترافیک و رفتار رانندگان تقسیم کرد. ویژگی‌های وسایل نقلیه سنگین شامل؛ سرعت و توانایی شتاب‌گیری، نسبت وزن به توان، ابعاد وسایل نقلیه سنگین است. هندسه مسیر شامل مواردی چون طول و درصد شیب‌ها، شعاع قوس‌های افقی، شرایط توپوگرافی مسیر و درجه عملکردی راه است. سرعت متوسط وسایل نقلیه، درصد وسایل نقلیه سنگین، نرخ سبقت گیری و سرفاصله‌های مشاهده شده در جریان ترافیک ویژگی‌های ترافیکی مؤثر را تشکیل می‌دهند (پژوهشکده حمل و نقل، ۱۳۸٤).

ضرایب همسنگ سواری کاربردهای مختلفی در مطالعات حمل و نقل، ترافیک راه‌ها و همچنین در بهره‌برداری و مدیریت آنها دارد. با استفاده از این ضرایب امکان تبدیل اثرات وسایل نقلیه سنگین در حجم و سایر پارامترهای ترافیک فراهم می‌شود. ظرفیت و سطح خدمت راه‌ها بر حسب همسنگ وسیله نقلیه سواری سنجیده می‌شود.

۲- چارچوب و روش تحقیق

هدف این تحقیق تعیین ضرایب همسنگ سواری برای راه‌های دو خطه دوطرفه ایران متناسب با شرایط مختلف می‌باشد. برای این منظور ابتدا، انواع مدل‌های ارایه شده بررسی خواهند شد. در گام بعدی، با انجام مطالعات میدانی متغیرهای هندسی و ترافیکی آمارگیری و برداشت خواهد شد. در این مرحله چندین محور از راه‌های اصلی دوخطه دوطرفه که حضور وسایل نقلیه سنگین در آنها چشمگیر بوده و دارای شیب‌های مختلف است انتخاب شده و ویژگی‌های هندسی و ترافیکی آنها برداشت خواهد شد. بر اساس آمار و اطلاعات برداشت شده، مدل‌های سرفاصله و اختلاف سرعت ارایه شده و در نهایت ضرایب همسنگ تعیین و با ضرایب همسنگ پیشنهادی راهنمای ظرفیت راه‌ها (HCM) مقایسه خواهند شد.

۳- مروری بر مطالعات پیشین

اولین بار واکر (Craus, 1980) از مفهوم سبقت برای تعیین ضریب همسنگ سواری وسایل نقلیه سنگین استفاده کرد. در این روش مطابق رابطه (۱) ضریب همسنگ سواری، E از تقسیم تعداد سبقت‌گیری‌های وسایل نقلیه سواری از وسایل نقلیه سنگین بر تعداد سبقت‌گیری‌های وسایل نقلیه سواری از یکدیگر تعیین می‌شود. از نتایج مطالعات واکر در تدوین راهنمای ظرفیت راه‌های سال ۱۹٦۵ (HCM65) استفاده شده است.

$$E = \frac{P_{kt}}{P_{kp}} \qquad (۱)$$

که در این رابطه:

P_{kt}: تعداد سبقت‌های انجام شده از یک کامیون در یک کیلومتر (در یک بازه زمانی معین)

P_{kp}: متوسط تعداد سبقت از یک وسیله نقلیه سواری، می‌باشد.

آشتون (Ashton, 1968) از ترکیب مدل ریاضی (تئوری صف) و روش‌های تجربی برای تعیین ضریب همسنگ سواری استفاده کرد. جان (John, 1978) با استفاده از نرم‌افزار شبیه‌سازی TWOWAF، رفتار جریان ترافیک در سربالایی‌ها را مورد مطالعه قرار داد. ژاکوبز (Jackobs, 1974) از یک مدل ریاضی انتگرالی برای بررسی تأثیر انواع وسایل نقلیه سنگین با نسبت‌های حضور متفاوت در جریان ترافیک استفاده کرد. ورنر برای محاسبه این ضریب از روشی بر اساس سرفاصله پیشنهاد کرد. ساده‌ترین شکل مدل سرفاصله از تقسیم سرفاصله وسیله نقلیه سنگین با وسیله جلویی بر سرفاصله سواری با وسیله نقلیه جلویی مطابق رابطه (۲) به‌دست می‌آید:

$$E = \frac{h_t}{h_c} \qquad (۲)$$

که در آن:

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

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

کراس (Craus, 1980) در تکمیل روش واکر برای تعیین همسنگ سواری وسایل نقلیه سنگین در جاده‌های دوخطه روش دیگری بر مبنای مقایسه تأخیر ناشی از سبقت‌ها ارایه کرده است. هابر (Huber, 1982) براساس نرخ‌های تردد متفاوت در شرایط ترافیکی یکسان، اقدام به محاسبه همسنگ سواری در راه‌های دو خطه مطابق رابطه (۳) نمود. به این ترتیب که برای تعیین ضریب

Archive of SID

www.SID.ir

همسنگ‌سواری یک نوع وسیله نقلیه یک نرخ تردد مبنا و یک نرخ تردد مختلط چنان تعیین می‌شوند که عملکرد یکسانی داشته باشند.

$$E = \frac{1}{P}\left(\frac{q_B}{q_M} - 1\right) + 1 \qquad (۳)$$

که در آن:

q_B: نرخ تردد

q_M: نرخ تردد مختلط

P: درصد کامیون

E: ضریب همسنگ سواری برای وسیله نقلیه سنگین مورد نظر می‌باشد.

سامنر (Sumner, 1984) برای تعیین ضریب همسنگ‌سواری از مفهوم جریان‌های معادل هابر استفاده کرد. وی در مطالعات خود از وسیله نقلیه- ساعت به عنوان معیار عملکرد استفاده کرد. دمارچی (Demarchi, 2003) برای تعیین ضریب همسنگ سواری از یک ضریب واسطه استفاده کرد. در دهه اخیر روش‌های کامپیوتری و شبیه‌سازی برای محاسبه این ضریب بیشتر مورد توجه قرار گرفته‌اند. در کتاب راهنمای ظرفیت راه‌ها نسخه‌های ۲۰۰۰ و ۲۰۱۰ از نرم‌افزار TWOPAS برای این منظور استفاده شده است (HCM 2010). رابطه به‌کار رفته در این دستورالعمل به صورت زیر است:

$$E_T = \frac{P_T(V/f_G) + ((ATS_{tr/grade} - ATS_{pc/grade})/-0.0125)}{P_T(V/f_G)} \qquad (٤)$$

که در آن:

E_T: ضریب همسنگ سواری برای وسیله نقلیه سنگین

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

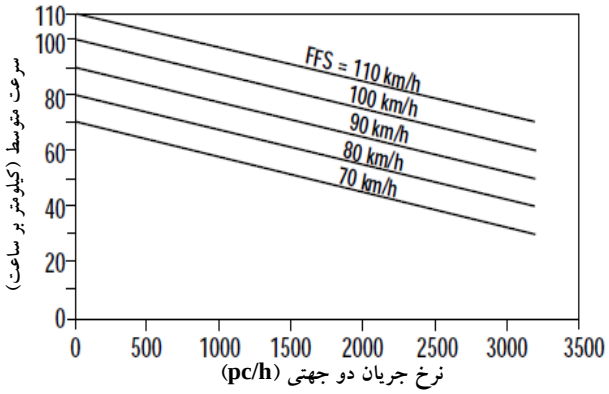
$ATS_{pc/grade}$: میانگین سرعت سفر در جریان کاملاً سواری در ناحیه هموار یا در شیب خاص (km/h)

V: حجم جریان ترافیک

P_T : درصد وسایل نقلیه سنگین و

f_G: ضریب شیب 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. مقدار ثابت ۰/۰۱۲۵- در رابطه (٤) شیب منحنی سرعت – جریان مطابق شکل ۱ است (NCHRP 3-55, 2000).



شکل ۱. نمودار سرعت– نرخ جریان دو جهتی جاده‌های دو خطه (HCM 2000)

مطالعات معدودی در زمینه ضرایب همسنگ سواری در داخل کشور صورت گرفته است که از جمله آنها می‌توان به مطالعه انطباقی ظرفیت راه‌های دوخطه کشور توسط امینی و عادل (۱۳۸۷) اشاره کرد که بر اساس یک مطالعه میدانی صورت گرفته و ضرایب همسنگ برحسب حجم و سطوح خدمت ارایه شده است.

بررسی انواع مدل‌های تعیین همسنگ سواری نشان می‌دهد که به‌مرور، روش‌های پیچیده‌تری معرفی و به‌کار گرفته شده‌اند. به‌واسطه افزایش دقت در این روش‌ها اطلاعات بیشتری مورد نیاز می‌باشد. در حال حاضر، اطلاعات مورد نیاز این روش‌ها با استفاده از مدل‌های شبیه‌سازی تولید می‌گردد. در حالی‌که، در مدل‌های اولیه اطلاعات مورد نیاز براساس مطالعات میدانی گردآوری می‌شد.

روش واکر که بر اساس سبقت بنا شده است، می‌تواند با استفاده از اطلاعات میدانی محدود ضریب همسنگ سواری را محاسبه کند. از طرفی در این روش مفهوم همسنگی تعریف مشخصی

Archive of SID
www.SID.ir

ندارد و تنها از یک نسبت به عنوان ضریب همسنگ‌سواری استفاده شده است. مدل کراس، با در نظر گرفتن تأخیر ناشی از سبقت که معیاری از سطح سرویس است نسبت به روش واکر ضریب همسنگ سواری را بهتر محاسبه می‌کند. تعیین همسنگ سواری با این روش برای جریان‌های زیر اشباع چندان دقیق به نظر نمی‌رسد؛ زیرا در این گونه جریان‌ها وسیله نقلیه سریع‌تر برای انجام سبقت متحمل تأخیر نمی‌شود. استفاده از مفهوم همسنگی در روش هابر، از نقاط قوت آن نسبت به روش‌های پیشین است. در این روش فرض می‌شود که رابطه بین سرعت و تراکم جریان خطی است. در حالی‌که در واقعیت ممکن است روابط دیگری بین ویژگی‌های جریان ترافیک وجود داشته باشد. روش سامنر برتری قابل توجهی نسبت به سایر روش‌های برآورد همسنگ‌سواری دارد. این روش از یک مدل شبیه‌سازی میکروسکوپی استفاده می‌کند، که پرداخت آن احتیاج به اطلاعات میدانی قابل توجهی خواهد داشت. در جدول ۱ نقاط قوت و ضعف روش‌های مختلف تعیین ضرایب همسنگ سواری ملاحظه می‌شود.

روش اختلاف سرعت که در راهنمای ظرفیت راه‌ها نسخه سال ۲۰۰۰ و ۲۰۱۰ استفاده شده، برای پارامترهای مختلف سرویس و حجم‌ها و شیب‌های متفاوت، ضرایب مختلفی ارایه کرده است. همچنین، در این روش تأثیر نرخ جریان در هریک از پارامترهای سرویس دیده شده است. بنابراین، با توجه به منابع موجود و مطالعات صورت گرفته روی هریک از مدل‌ها و شاخص‌های انتخابی، مدل پیشنهادی آیین‌نامه ظرفیت راه‌های آمریکا نسبت به سایر مدل‌ها برای پرداخت مناسب‌تر به نظر می‌رسد. در کنار این روش، روش سرفاصله نیز به خاطر سادگی رابطه و سادگی برداشت اطلاعات مورد نیاز استفاده خواهد شد.

٤- گروه‌بندی وسایل نقلیه

با توجه به تنوع وسایل نقلیه سنگین اعم از باری و مسافری، ضروری است، گروه‌بندی بر اساس مشخصات آنها صورت گیرد. این گروه‌بندی باید به‌گونه‌ای باشد، که وسایل نقلیه سنگین هر گروه، بازدارندگی یکسانی در جریان ترافیک ایجاد کنند. هر چه جزییات بیشتری در این گروه‌بندی در نظرگرفته شود، تعداد گروه‌ها بیشتر شده و حجم اطلاعات مورد نیاز و هزینه‌های مربوطه نیز افزایش می‌یابد. بنابراین، لازم است، با ایجاد یک تعادل مناسب و قابل قبول، گروه‌بندی بهینه برای انواع وسایل نقلیه معرفی شود.

در کشور انگلستان وسایل نقلیه سنگین در سه گروه وسایل نقلیه تجاری متوسط، سنگین و اتوبوس طبقه‌بندی شده‌اند (Luttinen, 2001). در کشور اندونزی وسایل نقلیه سنگین در سه گروه وسایل نقلیه سنگین متوسط (MHV)، کامیون های بزرگ و ترکیبی (LT)، اتوبوس‌های بزرگ (LB) قرار گرفته‌اند (Prasetijo, 2005).

در نسخه سال ۱۹۸۵ راهنمای ظرفیت راه‌ها، وسایل نقلیه به ٤ گروه سواری، کامیون، اتوبوس و وسایل نقلیه تفریحی تقسیم شده بودند (HCM, 1985). اما در نسخه‌های بعدی این آیین‌نامه، کامیون و اتوبوس در یک گروه تحت عنوان کامیون ادغام شدند (HCM, 2000 & 2010). سازمان راهداری و حمل ونقل جاده‌ای (وزارت راه و ترابری، ۱۳۸۱) یک گروه‌بندی برای وسایل جاده های کشور در سال ۱۳۸۱پیشنهاد کرد. طی سال‌های بعد این گروه‌بندی بر اساس میزان مشاهدات وسایل نقلیه در هر گروه و عملکرد و خصوصیات فیزیکی وسایل نقلیه سنگین مورد بازنگری قرار گرفت و در نهایت وسایل نقلیه در ۵ گروه سواری، مینی بوس و کامیون دو محور سبک، کامیون دو و سه محور، اتوبوس و کامیون چهار محور و بالاتر تقسیم شدند (پژوهشکده حمل و نقل، ۱۳۸٤).

در این مطالعه، وسایل نقلیه به سه گروه وسایل نقلیه سواری سبک (سواری و وانت)، وسایل نقلیه سنگین یک قسمتی (کامیون دو و سه محور، اتوبوس و مینی بوس) و وسایل نقلیه سنگین دو قسمتی (ترکیب کشنده و تریلر) تقسیم شده‌اند. این تقسیم‌بندی با توجه به خصوصیات و میزان بازدارندگی و بر اساس عملکرد، طول و تأثیری که این وسایل بر میزان تأخیر، زمان سفر و سرعت دارند انجام گرفته است.

Archive of SID

www.SID.ir

جدول ۱. نقاط قوت و ضعف روش‌های محاسبه همسنگ سواری

روش	اطلاعات مورد نیاز	نقاط ضعف و قوت
واکر (نرخ سبقت)	توزیع سرعت تردد وسایل نقلیه سواری در سطوح سرویس مختلف سرعت متوسط کامیون در شیب‌های مختلف	+ می‌تواند با استفاده از اطلاعات میدانی محدود ضریب همسنگ سواری را محاسبه کند. – مفهوم همسنگی تعریف مشخصی ندارد و تنها از یک نسبت به عنوان ضریب همسنگ سواری استفاده شده است. – این روش بیشتر برای جریان‌های زیر اشباع صادق است و در جریان‌های فوق اشباع نتایج درستی به دست نمی‌دهد.
کراس (تأخیر)	توزیع سرعت تردد وسایل نقلیه سواری در سطوح سرویس مختلف سرعت متوسط کامیون در شیب‌های مختلف حداقل سرفاصله زمانی قابل قبول در جریان ترافیک جهت مقابل، برای انجام سبقت	+ با در نظر گرفتن تأخیر ناشی از سبقت که معیاری از سطح سرویس است نسبت به روش واکر ضریب همسنگ سواری را بهتر محاسبه می‌کند – این روش در تعیین همسنگ سواری در جریان‌های زیر اشباع دقیق به نظر نمی‌رسد. – مفهوم همسنگی تعریف مشخصی ندارد و از یک نسبت به عنوان ضریب همسنگ سواری استفاده شده است. – نیاز به برآورد متوسط حداقل سرفاصله خواهد داشت.
هابر (جریان معادل)	داشتن اطلاعات کافی از تغییرات سرعت و زمان سفر در نرخ‌های جریان متفاوت و ترکیب ترافیک مختلف	+ استفاده از مفهوم همسنگی – فرض وجود تنها یک نوع وسیله نقلیه سنگین در جریان ترافیک – این روش تقابل انواع وسایل نقلیه در جریان ترافیک را در نظر نگرفته است. – فرض خطی بودن رابطه بین سرعت و تراکم جریان.
سامنر– دمارچی HCM – (شبیه‌سازی جریان و اختلاف سرعت)	یک مدل شبیه‌سازی جریان ترافیک	+ استفاده از مفهوم همسنگی + وجود بیش از یک وسیله نقلیه در جریان ترافیک – هنگامی که بیش از یک نوع وسیله نقلیه در جریان ترافیک حضور دارد، چندان موفق به نظر نمی‌رسد. – استفاده از یک مدل شبیه‌سازی میکروسکوپی به اطلاعات میدانی قابل توجهی نیازدارد.
ورتر (سرفاصله)	براساس سرعت حجم تردد وسایل نقلیه به تفکیک نوع سرعت وسایل نقلیه براساس زنجیره وسایل نقلیه حجم تردد وسایل نقلیه به تفکیک نوع در زنجیره‌های دنبال هم	+ می‌توان با استفاده از اطلاعات میدانی نسبتاً محدود ضریب همسنگ سواری را محاسبه کرد. – فرض رابطه خطی میان سرعت و حجم ترافیک با نزدیک شدن به مقدار ظرفیت صادق نمی‌باشد.

۵- جمع‌آوری آمار و اطلاعات

۵-۱- انتخاب محورهای آماربرداری

به منظور انتخاب مقاطع مناسب برای آماربرداری راه‌های دوخطه از شاخص‌هایی شامل شرایط جغرافیایی و آب و هوایی، متوسط نرخ تردد جریان ترافیک و درصد وسایل نقلیه سنگین استفاده شده است. در ابتدا، وضعیت کمی و کیفی شبکه راه‌های دوخطه، شرایط آب و هوایی و نحوه جریان ترافیک در آنها براساس اطلاعات موجود مورد بررسی و تحلیل قرار گرفته است. سپس، نه محور در شرایط توپوگرافی هموار، تپه ماهور و کوهستانی انتخاب شد. محورهای انتخابی عبارتند از: همدان – قروه، گچسر – سیاه بیشه، آدران – گچسر، اشتهارد – بویین زهرا، ساوه – همدان (جاده قدیم)، دهگالان – سنندج، یزد – مهریز، اردکان – چوپانان، یزد – ابرکوه. شکل ۲ محل قرارگیری محورهای انتخابی در کشور را نشان می‌دهد.

۵-۲- برداشت متغیرهای مورد نیاز

متغیرهای مؤثر در مدل‌های همسنگ سواری به دو گروه متغیرهای ترافیکی (حجم عبور و سرعت) و متغیرهای هندسی مسیر (درصد و طول شیب) قابل تقسیم هستند. برداشت

Archive of SID

www.SID.ir

متغیرهای گروه اول بـه روش فـیلم‌بـرداری وضـعیت ترافیـک و برداشت گروه دوم شامل پلان و نیمرخ مسیر بـه کمـک دسـتگاه GPS بوده است. در این راستا در مجموع ۲۷ سـاعت آمـارگیری میدانی انجام شد.

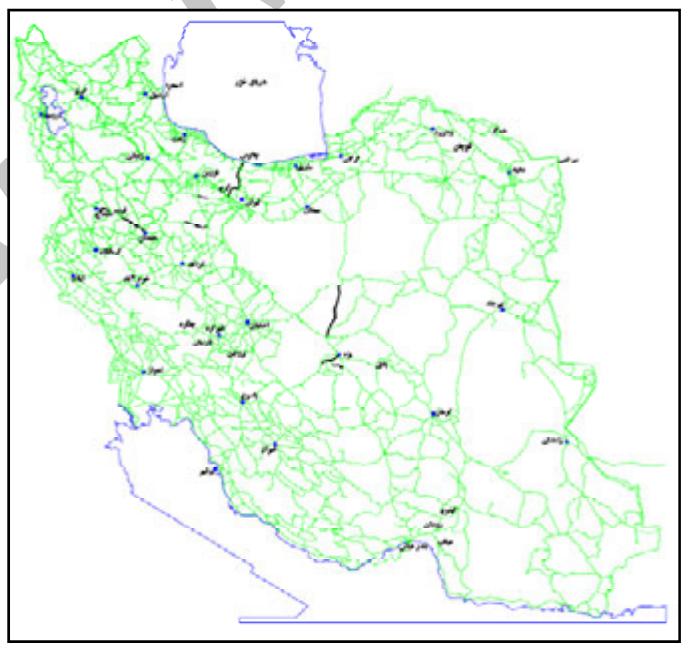
علاوه بر برداشت آمـار واطلاعـات جدیـد از راه‌هـای کشـور، از اطلاعات موجود شناسگرهای سازمان راهـداری و حمـل و نقـل جاده‌ای در استان‌های زنجان و قم استفاده شده اسـت. اطلاعـات لازم از ۵ محور در استان قم و ٤ محور از استان زنجان تهیه شده است. آمار و اطلاعات شناسگرها شامل حجم و زمان عبور انـواع وسایل نقلیه از مقابل شناسـگر بـوده اسـت کـه از تفاضـل زمـان عبوری آنها می‌توان سرفاصله میان وسایل نقلیه را به دسـت آورد. با داشتن حجم عبوری در هر ساعت می‌تـوان سرفاصـله‌هـا را در گروه‌های حجمی متفاوت محاسبه نمود.

٦- تجزیه و تحلیل داده‌ها

در این مطالعـه، تجزیـه و تحلیـل داده‌هـا بـرای بـرآورد ضـریب همسنگ سواری به دو روش متفـاوت صـورت گرفتـه اسـت. در روش اول این ضرایب بر اساس اختلاف میانگین سرعت وسـایل نقلیه سواری در جریان کاملاً سواری و جریان مختلط و با استفاده از نمـودار سـرعت – جریـان محاسـبه مـی‌گـردد. در روش دوم ضریب همسنگ سواری از تقسیم میانگین سرفاصله وسیله نقلیـه سنگین با وسیله جلویی بر میانگین سرفاصـله سـواری بـا وسـیله نقلیه جلویی به دست می‌آید.

٦-١- روش اختلاف سرعت

از آنجا که، برای محاسبه میانگین سرعت در ابتدا نیاز به همسنگ سازی حجم ترافیک بر اساس ضرایب همسـنگ سـواری وجـود دارد، بنابراین، در روش اختلاف سرعت، از یک فراینـد تکـراری استفاده می‌شود. در گام اول این فرایند، نمـودار خطـی سـرعت- تردد برای هریک از شرایط توپوگرافی و گروه‌های وسـایل نقلیـه به روش رگرسیون به‌دست می‌آید. برای این منظـور از یـک تـابع خطی با شیب منفی برای برازش داده‌ها استفاده شده است. شـیب این خط به عنوان مقدار ثابت در رابطه (٤) استفاده می‌شـود و بـه این ترتیب، در تکرار اول ضریب همسنگ سـواری وسـیله نقلیـه سنگین مورد نظر محاسبه می‌گردد. در تکرار بعدی، دوباره نمودار سرعت- حجم بر اساس ضرایب همسنگ سواری جدیـد ترسـیم می‌گردد. این فرایند تا همگرا شدن ضرایب همسـنگ سـواری در دو تکرار پایانی و افزایش شاخص نیکـویی بـرازش R^2 تـا یـک مقدار قابل قبول ادامه می‌یابـد. شـاخص R^2 در ایـن نمودارهـا از حدود ۰/۷ تا ۰/۹ متغیر بوده است. شکل ۳ یک نمونـه ازخطـوط رگرسیون شده در شرایط توپوگرافی هموار را نشان می‌دهد.



شکل ۲. محل قرارگیری محورهای انتخابی در کشور

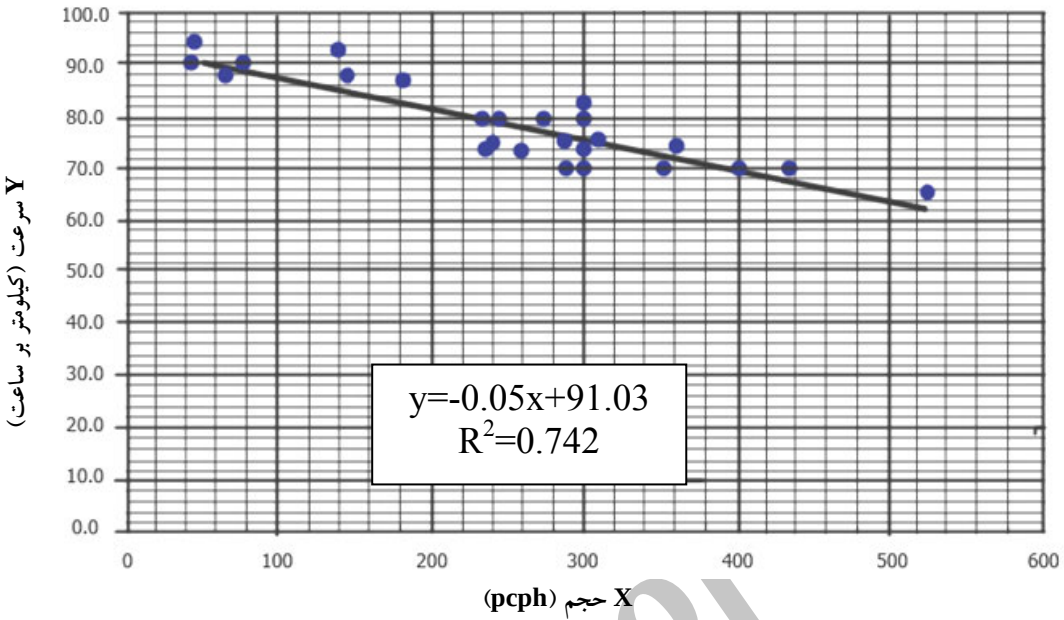
Archive of SID
www.SID.ir

در رابطه (۵) مدل کالیبره شده همسنگ سواری بر اساس شیب نمودار شکل ۳ ارایه شده است.

$$E_T = \frac{P_T(V/f_G) + ((ATS_{tr/grade} - ATS_{pc/grade})/-0.05)}{P_T(V/f_G)} \quad (۵)$$

که در آن متغیرها مشابه تعاریف قبلی هستند.

در جدول (۲) روابط رگرسیون مربوط به هر دو گروه وسایل نقلیه سنگین در شرایط هموار، تپه ماهوری و کوهستانی ارایه شده است.



شکل ۳. نمودار سرعت- حجم در شرایط توپوگرافی هموار برای وسایل نقلیه سنگین یک قسمتی

جدول ۲. روابط رگرسیون برای انواع وسایل نقلیه سنگین

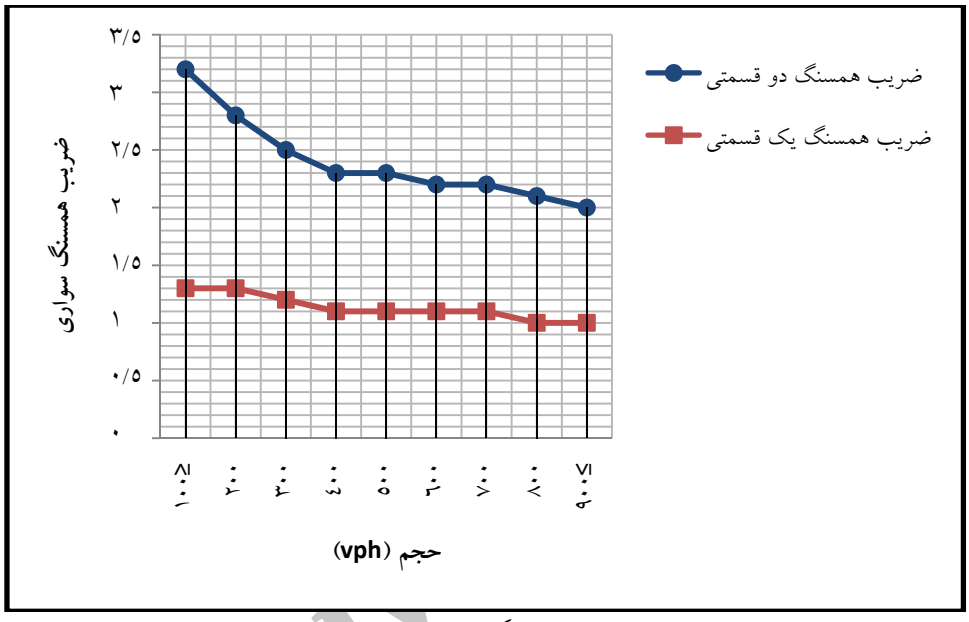
نوع عوارض منطقه	وسیله نقلیه سنگین	رابطه رگرسیون	شاخص R^2	آماره F
هموار	یک قسمتی	y = -0.05x + 91.03 (-8.132) (9.875)	۰/۷۴۲	٦٦/۱۳
	دو قسمتی	y = -0.053x + 88.68 (-9.266) (10.852)	۰/۸۵۱	۸۵/۸٦
تپه ماهور	یک قسمتی	y = -0.053x + 80.88 (-5.775) (7.815)	۰/۷٦۹	۳۳/۳٤
	دو قسمتی	y = -0.066x + 85.13 (-3.061) (3.788)	۰/۷۰۰	۹/۳٦
کوهستانی	یک قسمتی	y = -0.052x + 80.85 (-9.634) (15.445)	۰/۸۵۳	۹۲/۸۲
	دو قسمتی	y = -0.022x + 55.71 (-5.700) (6.995)	۰/۸۲۳	۳۲/٤۹

* ارقام داخل پرانتز مقادیر آماره t هستند.

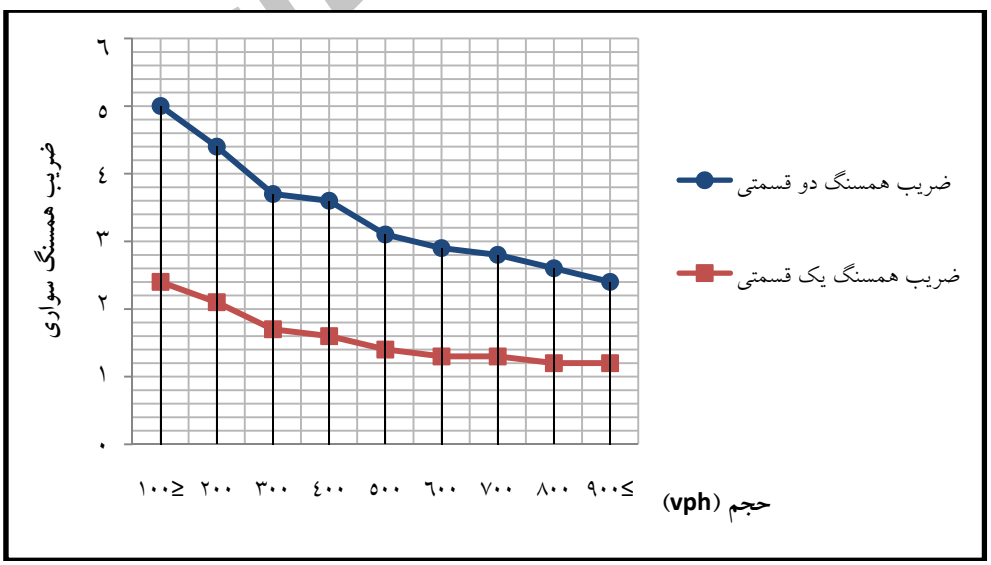
www.SID.ir

شکل ٤ ضرایب همسنگ سواری محاسبه شده به این روش را در شرایط هموار مطابق با گروه‌بندی پیشنهادی نشان می‌دهد. همان‌طور که در شکل مشاهده می‌شود، ضرایب همسنگ سواری وسایل نقلیه سنگین دو قسمتی در شرایط هموار در تمامی گروه‌های حجمی تا حدود زیادی بر ضرایب راهنمای ظرفیت راه‌ها منطبق است. ضرایب وسایل نقلیه یک قسمتی، در یک دید کلی از ضرایب راهنمای ظرفیت راه‌های ۲۰۱۰ کمتر است. اما با افزایش میزان حجم اختلاف میان ضرایب کاهش می‌یابد.

همچنین، در شکل ٥ ضرایب همسنگ سواری وسایل نقلیه سنگین محاسبه شده به روش اختلاف سرعت در شرایط تپه ماهوری در حجم‌های عبوری متفاوت نشان داده شده است. در این شکل نیز، مانند شرایط هموار ضرایب همسنگ سواری وسایل نقلیه دو قسمتی تقریبا برابر ضرایب HCM2010 است. اما ضرایب وسایل نقلیه سنگین یک قسمتی از این ضرایب کمتر است. شکل ٦ مقایسه ضرایب همسنگ سواری در مناطق کوهستانی را نشان می‌دهد.

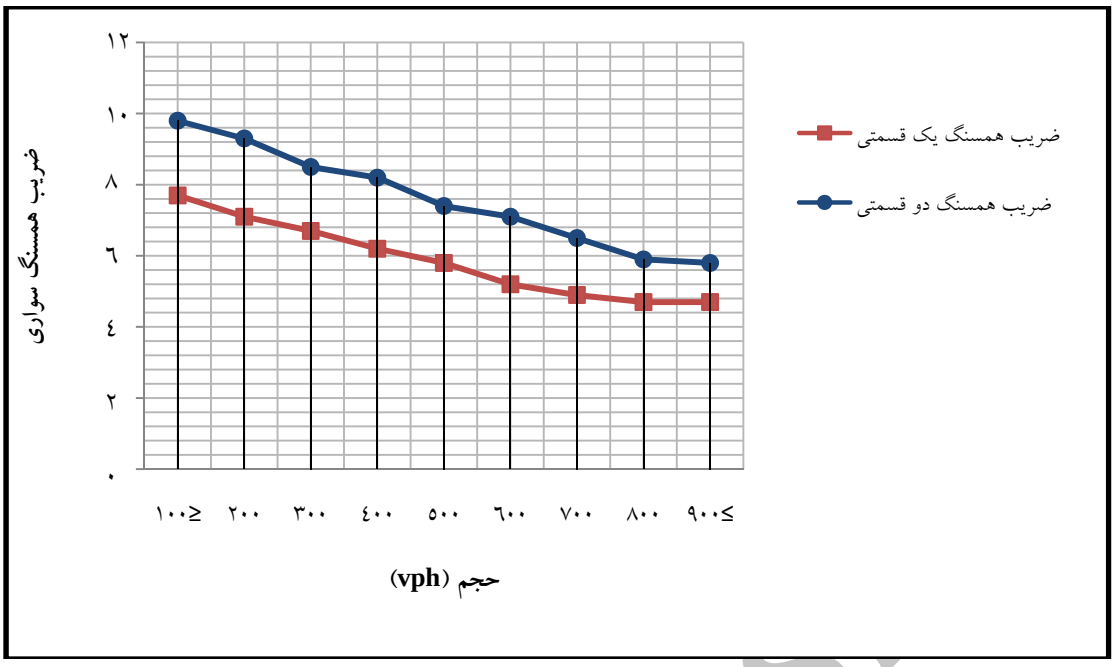


شکل ٤. ضریب همسنگ سواری در شرایط هموار



شکل ٥. ضریب همسنگ سواری در شرایط تپه ماهور

www.SID.ir



شکل ٦. ضریب همسنگ سواری در شرایط کوهستانی

همان‌طور که انتظار می‌رود، با افزایش میزان شیب، ضریب همسنگ سواری انواع وسایل نقلیه سنگین افزایش پیدا می‌کند. همچنین اختلاف میان این ضرایب با ضرایب راهنمای ظرفیت راه‌ها با افزایش شیب بیشتر می‌شود.

٦-٢- روش سرفاصله

در روش سرفاصله، فضای بیشتری که وسایل نقلیه سنگین برای جبران عملکرد ضعیف‌تر خود، احتیاج دارند مورد توجه قرار می‌گیرد. در این روش سرفاصله زمانی میان انواع وسایل نقلیه به عنوان شاخصی برای محاسبه ضرایب همسنگ سواری مورد استفاده قرار می‌گیرد. ضریب همسنگ سواری E_t در این روش از رابطه (٢) محاسبه می‌شود.

نکته مهم در روش سرفاصله این است، که امکان مقایسه سرفاصله میان انواع گروه‌های وسایل نقلیه در حجم‌های خیلی کم وجود ندارد. در حقیقت، در حجم‌های خیلی پایین جریان ناپیوسته بوده و فاصله زمانی وسایل نقلیه در طول جاده از هم زیاد است و سرفاصله میان وسایل نقلیه متأثر از نوع وسیله نقلیه نیست. برای حل این مسئله، حجم‌های ترافیک به دو گروه کمتر از ۵۰۰ وسیله نقلیه بر ساعت و بیشتر از ۵۰۰ وسیله نقلیه بر ساعت تقسیم شده‌اند. سپس در هر گروه متوسط سرفاصله برای وسایل نقلیه سبک و انواع وسایل نقلیه سنگین محاسبه شده و در رابطه (٢) جایگزین می‌شود. در شکل ٧ نمودار توزیع فراوانی سرفاصله ها بر اساس آمار و اطلاعات سازمان راهداری و حمل و نقل جاده‌ای مشاهده می‌شود. همچنین نتایج مربوط به این محاسبات در جدول ٣ ارایه شده است.

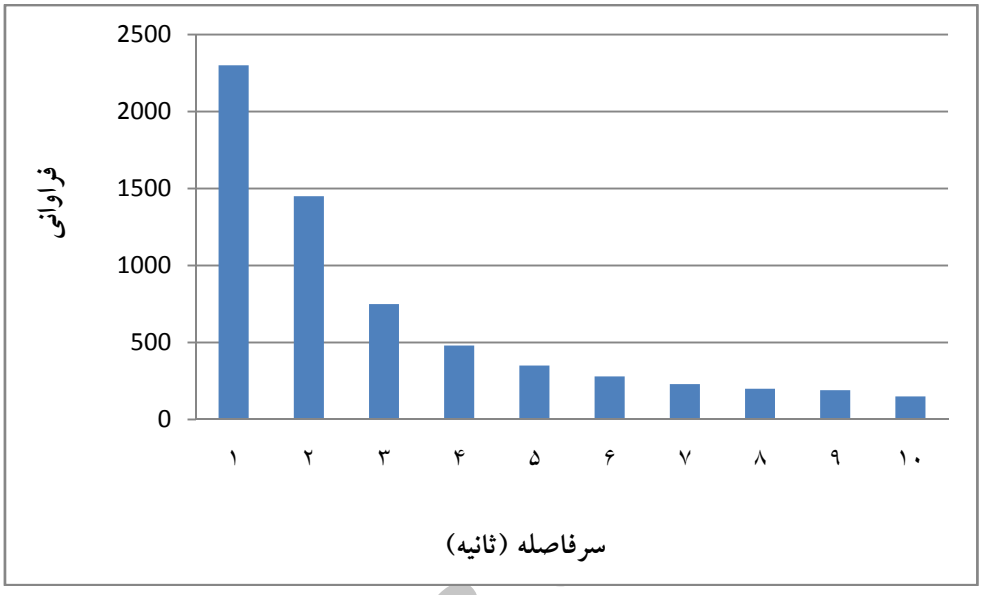
٧- مقایسه و ارزیابی نتایج

مقایسه نتایج به‌دست آمده برای انواع شرایط توپوگرافی و گروه های وسایل نقلیه سنگین مختلف نشان می‌دهد، که ضرایب محاسبه شده از دو روش به میزان قابل قبولی به یکدیگر نزدیک هستند. در روش اختلاف سرعت، ضرایب همسنگ سواری در ٩ گروه حجمی پیشنهاد شده‌اند که این امر، میزان دقت کاربرد این ضرایب را بالاتر می‌برد و به نوبه خود، باعث صرفه‌جویی در منابع مالی و زمان می‌شود.

Archive of SID
www.SID.ir

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، ارایه نتایج در دو گروه حجمی نیز میزان دقت مطالعات آتی را کاهش می‌دهد. با توجه به مطالب گفته شده، ضرایب محاسبه شده به‌وسیله روش اختلاف سرعت به عنوان ضرایب همسنگ سواری در راه‌های دوخطه کشور پیشنهاد می‌شوند.

در جداول ۳، ٤ و ۵ نتایج به‌دست آمده از دو روش به ترتیب در شرایط هموار، تپه‌ماهوری و کوهستانی با یکدیگر مقایسه شده‌اند.



شکل ۷. نمودار توزیع فراوانی سرفاصله‌ها در جریان ترافیک

جدول ۳. ضرایب همسنگ سواری محاسبه شده به روش سرفاصله بر اساس شناسگرهای سازمان راهداری

شیب (٪)	حجم (vph)	وسیله نقلیه سنگین یک قسمتی	وسیله نقلیه سنگین دو قسمتی
هموار	≤۵۰۰	۱/۳	۲
	>۵۰۰	۱/۲	۱/۸
تپه ماهور	≤۵۰۰	۱/۸	۲
	>۵۰۰	۱/۲	۱/٤
کوهستانی	≤۵۰۰	۵/۵	٦/۲
	>۵۰۰	٤/۳	۵/٤

Archive
www.SID.ir

جدول ٤. مقایسه ضرایب همسنگ سواری به‌دست آمده در شرایط هموار

حجم (vph)	وسیله نقلیه یک قسمتی		وسیله نقلیه دو قسمتی	
	روش اختلاف سرعت	روش سرفاصله	روش اختلاف سرعت	روش سرفاصله
≤۱۰۰	۱/۳	۱/۳	۱/۹	۲
۲۰۰	۱/۳		۱/۵	
۳۰۰	۱/۲		۱/۳	
٤۰۰	۱/۱		۱/۲	
۵۰۰	۱/۱		۱/۲	
٦۰۰	۱/۱	۱/۲	۱/۱	۱/۸
۷۰۰	۱/۱		۱/۱	
۸۰۰	۱		۱/۱	
≥۹۰۰	۱		۱	

جدول ۵. مقایسه ضرایب همسنگ سواری به‌دست آمده در شرایط تپه و ماهوری

حجم (vph)	وسیله نقلیه یک قسمتی		وسیله نقلیه دو قسمتی	
	روش اختلاف سرعت	روش سرفاصله	روش اختلاف سرعت	روش سرفاصله
≤۱۰۰	۲/٤	۱/۸	۲/٦	۲
۲۰۰	۲/۱		۲/۳	
۳۰۰	۱/۷		۲	
٤۰۰	۱/٦		۲	
۵۰۰	۱/٤		۱/۷	
٦۰۰	۱/۳	۱/۲	۱/٦	۱/٤
۷۰	۱/۳		۱/۵	
۸۰۰	۱/۲		۱/٤	
≥۹۰۰	۱/۲		۱/۲	

جدول ٦. مقایسه ضرایب همسنگ سواری به‌دست آمده در شرایط کوهستانی

حجم (vph)	وسیله نقلیه یک قسمتی		وسیله نقلیه دو قسمتی	
	روش اختلاف سرعت	روش سرفاصله	روش اختلاف سرعت	روش سرفاصله
≤۱۰۰	۷/۷	۵/۵	۹/۸	٦/۲
۲۰۰	۷/۱		۹/۳	
۳۰۰	٦/۷		۸/۵	
٤۰۰	٦/۲		۸/۲	
۵۰۰	۵/۸		۷/٤	
٦۰۰	۵/۲	٤/۳	۷/۱	۵/٤
۷۰۰	٤/۹		٦/۵	
۸۰۰	٤/۷		۵/۹	
≥۹۰۰	٤/۷		۵/۸	

Archive of SID
www.SID.ir

برای ارزیابی آماری نتایج به‌دست آمده از دو روش از آزمون t و همبستگی نمونه‌های مزدوج در سطح معنی داری ۰/۹۵ (α=۰/۰۵) استفاده شده است. در جدول ۷ نتایج این آزمون برای وسایل نقلیه سنگین یک قسمتی و دو قسمتی در انواع شرایط توپوگرافی نشان داده شده است.

جدول ۷. نتایج آزمون t همسنگ سواری بر اساس روش‌های اختلاف سرعت و سرفاصله

عوارض زمین	وسیله یک قسمتی		وسیله دو قسمتی	
	همبستگی	آماره t	همبستگی	آماره t
هموار	۰/۷۰۹	۰/۰۲۰	۰/٦٤۲	۰/۰۲۰
تپه ماهور	۰/۷۳۲	۰/۰۱۵	۰/۸۰٦	۰/۰۰۱
کوهستانی	۰/۸٦۷	۰/۰۰۱	۰/۸٤۵	۰/۰۰۱

با توجه به مقادیر مندرج در این جداول، می‌توان نتیجه‌گیری کرد، که دو روش ضرایب یکدیگر را در سطح اطمینان ۹۵ درصد تأیید می‌کنند.

۸- نتیجه‌گیری

این کار تحقیقاتی با هدف محاسبه و ارزیابی ضرایب همسنگ سواری در راه‌های دوخطه برون شهری کشور به روش‌های اختلاف سرعت و سرفاصله انجام گرفته است. در این راستا، ۹ محور انتخاب و در این محورها آمار و اطلاعات لازم برداشت شد و ضریب همسنگ سواری به روش‌های اختلاف سرعت و سرفاصله تعیین گردید. در روش سرفاصله از آمار و اطلاعات شناسگرهای سازمان راهداری و حمل و نقل جاده‌ای استفاده شده است. در این تحقیق وسایل نقلیه سنگین عبوری از راه‌های کشور با توجه به میزان بازدارندگی که در شرایط ترافیک ایجاد می‌کنند، به دو گروه وسایل نقلیه یک قسمتی و وسایل نقلیه دو قسمتی تقسیم شده‌اند.

تجزیه و تحلیل اطلاعات و تعیین ضرایب همسنگ سواری بر اساس مدل‌های اختلاف سرعت و سرفاصله صورت گرفت. مقایسه نتایج حاصل از دو روش نشان‌دهنده نزدیکی چشمگیر نتایج دو روش در تراز اطمینان بالاتر از ۹۵ درصد بوده است.

به صورت کلی، می‌توان نتیجه‌گیری کرد، که ضرایب همسنگ سواری در ایران از ضرایب پیشنهادی راهنمای ظرفیت راه‌ها کمتر است و میزان این تفاوت با افزایش شیب بیشتر می‌شود. در حالی که ضرایب وسایل نقلیه سنگین یک قسمتی به صورت میانگین ۱۵ درصد کمتر از ضرایب HCM 2010 است. این اختلاف در مناطق تپه ماهور به حدود ۱۰ درصد می‌رسد. با افزایش میزان شیب اختلاف میان ضرایب نیز افزایش پیدا می‌کند به قسمی که در مناطق کوهستانی این اختلاف برای وسایل نقلیه یک قسمتی به ۵۰ درصد و برای وسایل نقلیه دو قسمتی به ۳۵ درصد می‌رسد.

با استفاده از ضرایب همسنگ سواری پیشنهادی امکان ارزیابی دقیق‌تر ظرفیت و سطح خدمت راه‌های دوخطه دو طرفه میسر می‌شود. ضرایب همسنگ سواری کاربردهای مختلفی در مطالعات حمل و نقل، ترافیک راه‌ها و همچنین در بهره‌برداری و مدیریت آنها دارد. با استفاده از این ضرایب امکان تبدیل اثرات وسایل نقلیه سنگین در حجم و سایر پارامترهای ترافیک فراهم می‌شود. ظرفیت و سطح خدمت راه‌ها بر حسب همسنگ وسیله نقلیه سواری سنجیده می‌شود.

با توجه به نتایج امید بخش این تحقیق که یکی از اولین گام‌ها در زمینه تعیین همسنگ سواری وسایل نقلیه سنگین در کشور است انجام مطالعات گسترده‌تری به‌ویژه در جهت توسعه مدل‌های عملکردی با تکیه بر عوامل و متغیرهای مؤثر در ضریب همسنگ سواری مانند عوامل هندسی، ترافیکی و رفتاری ضرورت تام خواهد داشت.

۹- مراجع

- امینی، ب. و عادل، ع. ر. (۱۳۸۷) "مطالعه انطباقی ظرفیت جاده‌های دوخطه برون شهری در ایران"، هشتمین کنفرانس مهندسی حمل و نقل و ترافیک تهران.
- پژوهشکده حمل و نقل، (۱۳۸٤) "مطالعات اولیه (امکان سنجی)، تحلیل ظرفیت، همسنگ سواری و سرعت متوسط در انواع مختلف راه‌های برون شهری"، وزارت راه و ترابری.
- Ashton, N. R., Buckley, D. J. and Miller, A. J. (1968) "Some aspects of capacity and queuing the vicinity of slow vehicles on a rural two-lane

Archive of SID
www.SID.ir

- John, A. D. and Kobett, D. R. (1978) "Grade effects on traffic flow stability and capacity". US Transportation Research Board, National Cooperative Highway Research Program.
- -Jackobs, F., (1974) "Queues and overtaking on two-lane roads". Transportation and traffic theory. Sydney.
- Luttinen, R. Tapio, (2001) "Capacity and level of service on Finnish two-lane highways", Finnish Road Administration, Traffic and Road Engineering, Finland.
- Mclean J. R., (1989) "Two-lane highway traffic operation, theory and practice", Australian Road Research Board.
- Sumner, R., D. Hill and S. Shapiro (1984) "Segment passenger car equivalent values for cost allocation", Transportation Research A.
- Prasetijo. J. (2005) "Development of a new method of capacity analysis at unsignalized intersections under mixed traffic flow (Preliminary Design Indonesia)", Eastern Asia Society for Transportation Studies, Vol. 5, pp. 967-983.

roads", Proceedings 4th Australian Road Research Board Conference.

- Craus, J., Polus A., and I. Grinberg (1980) "A revised method for determination of passenger car equivalencies", Transportation Research Part A.
- Demarchi, Sergio Henrique - José Reynaldo Setti (2003) "Limitations of PCE derivation for traffic streams with more than one truck type", TRB Annual Meeting.
- Douglas W. and Harwood J. (1999) "Capacity and quality of service of two-lane highways", NCHRP 3-55(3) Final report.
- "Highway Capacity Manual" (1985) Transportation Research Board, National Research Council, Washington, D.C.
- "Highway Capacity Manual" (2010) Transportation Research Board, National Research Council, Washington, D.C.
- "Highway Capacity Manual" (2000) Transportation Research Board, National Research Council, Washington, D.C.
- Huber, M. J. (1982) "Estimation of passenger-car equivalents of trucks in traffic stream". Transportation Research Record 869, TRB, National Research Council, Washington, D.C.

Archive of SID

www.SID.ir