

تأثیر ناهمواری روسازی و روشنایی بر سرعت جریان آزاد در آزادراهها

محمود صفارزاده، استاد، دانشکده فنی و مهندسی، دانشگاه تربیت مدرس، تهران، ایران

محسن زاهدی*، دانشجوی دکتری، دانشکده فنی و مهندسی، دانشگاه تربیت مدرس، تهران، ایران

E-mail: zahedi_mn@yahoo.com

دریافت: ۱۳۸۸/۰۴/۲۳ - پذیرش: ۱۳۸۸/۱۱/۰۶

چکیده

این مطالعه قصد دارد تأثیر ناهمواری روسازی و تاریکی شب بر سرعت جریان آزاد، در آزادراهها را به دست آورد. در بسیاری از آئین نامه های معتبر دنیا، به منظور مطالعه سرعت جریان آزاد^۱ (FFS) شرایط روسازی هموار و روشنایی روز مد نظر بوده است، نظیر آیین نامه ظرفیت بزرگراهها^۲ (HCM)، که در آن تأثیر ناهمواری روسازی و تاریکی بر سرعت جریان آزاد، ظرفیت و سطح سرویس^۳ راهها در نظر گرفته نشده است. آشکار است هر عاملی که سبب کاهش دید رانندگان و یا افزایش لرزش وارده به وسایل نقلیه شود، منجر به کاهش سرعت وسایل نقلیه خواهد شد. در این مطالعه به منظور تعیین شرایط ناهمواری روسازی، از ضریب ناهمواری بین المللی^۴ (IRI)؛ که توسط دستگاه RSP^۵ ساخت شرکت Dynatest برداشت می گردد؛ استفاده شد، همچنین اطلاعات درباره ناهمواری روسازی و سرعت جریان آزاد وسایل نقلیه سواری در روشنایی روز و تاریکی شب و در ۱۶ قطعه از یک محور آزاد راهی به طول ۶۲ کیلومتر برداشت شد. داده های سرعت، با دستگاه Speed Gun مدل traffipatrol XR که توانایی سنجش سرعت در روز و شب و تا فاصله بیش از یک کیلومتر را دارد و در شرایط جریان آزاد سنجش شد و به منظور جلوگیری از تأثیر کنترل سرعت بر رفتار رانندگان، محل استقرار دستگاه در فواصل و نیز مکان هایی انتخاب شدند که در محدوده دید رانندگان قرار نگیرد. تحلیل داده ها در این مطالعه نشان می دهد که رابطه خطی و معکوس در سطح معنی داری ۰/۰۱، توانایی توضیح تغییرات سرعت جریان آزاد بر حسب ضریب ناهمواری بین المللی را دارد و حساسیت سرعت جریان آزاد به ناهمواری در شرایط تاریکی شب کمتر از حساسیت سرعت جریان آزاد به ناهمواری در روشنایی روز است. دیگر نتایج این مطالعه نشان دهنده آنست که حساسیت سرعت جریان آزاد نسبت به تاریکی در ناهمواری های کوچک تر بیشتر است. نهایتاً این مطالعه، فاکتورهای نوعی^۶ را به منظور تصحیح شرایط ناهمواری و تاریکی بر معادلات سرعت جریان آزاد در HCM، ارایه کرده است.

واژه های کلیدی: سرعت جریان آزاد، ناهمواری روسازی، تاریکی، بزرگراه، آزاد راه

۱. مقدمه

آیین نامه ظرفیت بزرگراهها (HCM) در روش محاسباتی برای تعیین سرعت جریان آزاد در آزادراهها شامل عوامل هندسی زیر است:

- عرض خطوط،
 - فاصله جانبی عاری از مانع شانه سمت راست،
 - تعداد خطوط حرکت و
 - چگالی تبادلهای را در نظر می گیرد [HCM, 2000].
- آشکار است که هر عاملی نظیر تاریکی و مه که منجر به کاهش دید رانندگان شود و نیز عواملی نظیر ناهمواری روسازی و

چاله ها که باعث افزایش لرزش وارده به وسیله نقلیه شوند، منجر به کاهش سرعت خواهند شد. این در حالی است که روابط آیین نامه ظرفیت بزرگراهها تأثیر ناهمواری روسازی و تاریکی را در محاسبه سرعت جریان آزاد، ظرفیت و سطح سرویس راهها در نظر نگرفته است. به گونه ای می توان به دستورالعمل ظرفیت راههای چین [Bang, and Heshen, 2002] و آیین نامه ظرفیت بزرگراههای اندونزی^۷ (IHCM) [Bany, K.L., (et al.), 1991] اشاره کرد که در آنها نیز تأثیر ناهمواری روسازی و تاریکی بر سرعت جریان آزاد، ظرفیت و سطح سرویس راهها

در نظر گرفته نشده است.

[1980]. در سال ۱۹۸۲ در برزیل مطالعه ای برای بررسی هزینه ساخت و تعمیر راه انجام شد. این مطالعه نشان داد افزایش ناهمواری باعث کاهش سرعت می شود. این مطالعه میزان کاهش سرعت به واسطه ناهمواری را برای تمام انواع وسایل نقلیه مطابق رابطه (۱) ارائه کرده است. [Geipot, 1982].

$$\Delta_{VS} = -2.00\Delta_{IRI} \quad (1)$$

که در آن:

$$\Delta_{VS} = \text{کاهش سرعت بر حسب km/hr}$$

$$\Delta_{IRI} = \text{تغییرات ناهمواری بر حسب mm/m است.}$$

همچنین در سال ۱۹۸۲، مؤسسه مرکزی تحقیقات راه هندوستان (CRCI)¹⁰ رابطه (۲) را برای در نظر گرفتن اثر ناهمواری بر سرعت وسایل نقلیه ارائه کرد. در رابطه (۲) پارامترها مشابه رابطه (۱) هستند [CRRI, 1982].

$$\Delta_{VS} = -2.57\Delta_{IRI} \quad (2)$$

در سال ۱۹۸۷ Watanatada و همکاران، تحقیقی در خصوص رابطه ناهمواری جاده ها با سرعت خودروها انجام دادند. این مطالعه نشان داد در محورهایی با سرعت بیشتر، ناهمواری تأثیر افزون تری بر کاهش سرعت دارد، [Watanatada, (et al.), 1987]. در سال ۱۹۹۳ کنگره جاده های هندوستان (IRC)¹¹ اعلام کرد که هزینه نگهداری خودروها (VOC)¹² با سرعت خودروها و ناهمواری های جاده رابطه مستقیم دارد [ICR, 1993]. در سال ۱۹۹۶ Brilon و Ponzlet در تحقیقات خود به این نتیجه رسیدند که در بزرگراه های آلمان، تاریکی می تواند باعث کاهش سرعت متوسط به میزان ۵ km/hr شود [Ponzlet and Brilon, 1996].

در سال ۱۳۸۰ ابطحی در رساله دکترای خود تحت عنوان "توسعه مفهوم ارزیابی وضعیت روسازی با توجه به اثر کیفیت روسازی ها بر ظرفیت راه های تحت جریان پیوسته"، تأثیر کیفیت روسازی را بر سرعت جریان آزاد و نهایتاً ظرفیت راه ها به دست آورد [ابطحی فروشانی، ۱۳۸۰]. او در مطالعه خود از مفهوم درجه راحتی استفاده کننده (UCR)¹³، بهره گیری کرد. ابطحی از بین روابط مختلف، رابطه خطی را برای بیان اثر کیفیت روسازی بر سرعت جریان آزاد مناسب تر تشخیص داد. نتیجه این مطالعه در خصوص تأثیر شرایط روسازی بر سرعت جریان آزاد در رابطه (۳) ارائه شده است.

$$S_f = 50.93 + 1.85(UCR) \quad R^2 = 0.86 \quad (3)$$

سرعت و طبیعتاً زمان سفر از معیارهای مهم در ارزیابی کیفیت سرویس دهی انواع مختلف تسهیلات حمل و نقلی مانند: بزرگراه های دو خطه برون شهری، خیابان های شهری، آزادراه ها و... است [HCM, 2000]. تعداد وسایل موتوری شماره گذاری شده در ایران از ۱/۰۹ میلیون وسیله نقلیه در سال ۱۳۵۱ به ۱۲/۶ میلیون خودرو در سال ۱۳۸۶ رسیده است [سالنامه آماری کشور، ۱۳۸۹-۱۳۵۱] که حاکی از رشد قابل ملاحظه ترافیک در جاده های ایران طی ۳/۵ دهه گذشته است. بنابراین با توجه به وجود ناهمواری و تاریکی در بسیاری از راه های ایران، این رشد ترافیک علاوه بر کاهش ایمنی در حمل و نقل جاده ای کشور، منجر به افزایش زمان سفر، کاهش سطح سرویس و نهایتاً افزایش هزینه سفر در مقیاس ملی خواهد شد.

این مطالعه قصد دارد بر پایه مطالعات میدانی، رابطه بین سرعت جریان آزاد و ناهمواری روسازی را در شرایط روشنایی روز و تاریکی شب به دست آورد. در این مطالعه، ابتدا خلاصه ای از مطالعات انجام شده در مورد موضوعهای تحقیق ارائه شده است. سپس روش انجام مطالعه و چگونگی برداشت داده های میدانی شامل داده های ناهمواری روسازی و سرعت جریان آزاد خودروها در روشنایی روز و تاریکی شب در یک محور آزاد راهی به طول ۶۲ کیلومتر ارائه شده است. در ادامه محدودیتهای مطالعه و نهایتاً تحلیل داده ها و نتیجه گیری از موضوع تحقیق آمده است.

۲. مروری بر مطالعات پیشین

در سال ۱۹۷۸ Karan مطالعه ای برای تعیین اثر ناهمواری روسازی بر سرعت جریان ترافیک انجام داد. در این مطالعه برای سنجش ناهمواری از شاخص راحتی رانندگی (RCI)⁸ استفاده شد. RCI یک شاخص کانادایی و نظیر شاخص سرویس دهی حاضر روسازی (PSI)⁹ است، با این تفاوت که دامنه تغییرات در RCI بین (۰-۱۰) و در PSI بین (۰-۵) است. Karan در مطالعات خود دریافت که ناهمواری، تأثیر معنی داری بر سرعت دارد [Karan, (et al.), 1978]. در سال ۱۹۸۰ Molenaar و Sweere تأثیرات ناهمواری روسازی را بر آرامش رانندگان بررسی کردند و به این نتیجه رسیدند که ناهمواری روسازی، تأثیر بسزایی بر تصادفات جاده ای داشته و لازم است در برنامه ریزی ایمنی جاده ها و بهبود وضعیت روسازی ها در نظر گرفته شود [Molenaar, and Sweere,]

انتخاب شوند. در این خصوص از رهنمودهای^۱ FHWA که برای جاده‌های برون شهری تدوین شده و در جدول (۱) آمده است، استفاده می‌شود. با توجه به جدول فوق، ضروری است ضرایب بین‌المللی ناهمواری حداقل محدوده $0.95 \leq IRI \leq 2.68$ را پوشش دهند. به منظور تعیین اثر ناهمواری بر ظرفیت و سرعت جریان لازم است سایر عوامل مؤثر ثابت و در حالت ایده‌آل باشند، بنابراین می‌باید معیارهایی جهت انتخاب قطعات مطالعاتی در نظر گرفته شوند. در مطالعه اخیر معیارهای انتخاب محور و قطعات مطالعاتی به شرح زیر در نظر گرفته شده است:

- عدم وجود روشنایی و یا امکان خاموش کردن روشنایی در محور مطالعاتی.

- وجود سطوح مختلف ناهمواری در محور مطالعاتی، مطابق توضیحات قبل.

- وجود ناهمواری معین در قطعات مطالعاتی در طولی حداقل برابر ۴۰۰ متر، به منظور تثبیت اثر ناهمواری بر رفتار راننده در کاهش سرعت.

- عدم وجود قوس و شیب سربالایی یا سرازیری در قطعات مطالعاتی.

- وجود فاصله مناسب تا عوارضی آزاد راه و ایستگاه پلیس راه.

- عدم وجود شیب طولانی قبل از قطعات مطالعاتی، به منظور عدم تأثیر بر سرعت جریان آزاد.

- عدم وجود خرابی‌های مؤثر بر کاهش سرعت در قطعات مطالعاتی، به جز ناهمواری روسازی.

- عدم وجود مانع در حاشیه راه.

- وجود شرایط ایده‌آل در مقاطع عرضی و یکنواخت بودن مقطع عرضی در طول محور مطالعاتی.

برای اندازه‌گیری IRI از دستگاه پروفیل سنج راه (RSP)^{۱۵} ساخت شرکت Dynatest استفاده شد. این دستگاه با سرعت ۸۰ km/hr از سطح جاده عبور کرده و ویژگی‌های مختلف مسیر و روسازی نظیر شعاع انحناء، شیب طولی، مختصات جغرافیایی نقاط، زبری رویه، شیار چرخ، عدد راحتی و ضریب ناهمواری بین‌المللی را برداشت می‌کند. به منظور افزایش دقت در تعیین قطعات مطالعاتی، ناهمواری در طول مسیر مورد نظر براساس قطعه‌های ۱۰ متری برداشت شد.

به منظور کمی کردن رابطه فوق و تعیین ضرایب آن بر پایه داده‌های میدانی، از روشهای آماری استفاده می‌شود. نظر به اینکه داده‌های سرعت جریان آزاد در شرایط جاده ای ایده‌آل و در بخشهای بدون قوس که روسازی آن عاری از هرگونه خرابی به جزء ناهمواری است، برداشت می‌شود، می‌توان در هر یک از شرایط روشنایی روز و تاریکی شب، تفاوت سرعت جریان آزاد در سطوح مختلف ناهمواری را از سرعت جریان آزاد در حالت رویه بدون ناهمواری محاسبه کرد که بر اساس آن فاکتورهای تصحیح سرعت به واسطه ناهمواری در روشنایی روز و تاریکی شب قابل محاسبه است. به این ترتیب می‌توان رابطه (۶) را در هریک از حالات روشنایی روز و یا تاریکی شب برای ناهمواری روسازی مطابق رابطه (۸) اصلاح کرد.

$$FFS_{IRI_d/n} = BFFS - f_{LW} - f_{LC} - f_N - f_{ID} - f_{IRI_d/n} \quad (۸)$$

در رابطه فوق:

$FFS_{IRI_d/n}$ = سرعت جریان آزاد در روشنایی روز و یا تاریکی شب برحسب (km/hr) در ناهمواری معین IRI و $f_{IRI_d/n}$ = فاکتور تعدیل ناهمواری در روشنایی روز و یا تاریکی شب برحسب (km/hr) است.

۴. جمع آوری داده ها

داده های این مطالعه شامل ناهمواری روسازی و سرعت جریان آزاد در دو حالت روشنایی روز و تاریکی شب است و از سنجش شدت نور با توجه به عدم امکان اندازه گیری آن در این مطالعه، خودداری شده است. برای تعیین ناهمواری از شاخص ناهمواری بین‌المللی (IRI) استفاده شده است. با توجه به بازدیدهای میدانی از محورهای مختلف بزرگراهی، بخشی از آزاد راه ساوه-تهران به طول ۶۲ کیلومتر که دارای سطوح مختلف ناهمواری و بدون روشنایی مصنوعی است، برای انجام مطالعه انتخاب شد [زاهدی، ۱۳۸۷].

به منظور تعیین اثر ناهمواری بر سرعت جریان آزاد، ضروری است قطعات مطالعاتی به گونه‌ای انتخاب شوند که طیف قابل قبولی از ناهمواری را پوشش دهند. به این علت لازم است یک توصیف کیفی از سطوح مختلف ناهمواری روسازی انجام شود و بر اساس این سطوح کیفی، رویه‌های خیلی خوب تا ضعیف

جدول ۱. توصیف کیفی وضعیت روسازی بر اساس IRI و PSR [FHWA-OP-01-017,2001].

توصیف کیفی وضعیت روسازی	ضریب ناهمواری بین المللی (IRI) بر حسب (mm/m)	درجه خدمت حاضر روسازی (PSR)
خیلی خوب	< ۰/۹۵	≥ ۴/۰
خوب	۰/۹۵-۱/۴۹	۳/۵-۳/۹
نسبتاً خوب	۱/۵۰-۱/۸۸	۳/۱-۳/۴
متوسط	۱/۸۹-۲/۶۸	۲/۶-۳/۰
ضعیف	> ۲/۶۸	≤ ۲/۵

به قطعه‌ای با ناهمواری متفاوت، پس از گذر از انتهای قطعه مورد نظر، امکان سنجش سرعت مکانی وجود نداشت، بنابراین برای اندازه‌گیری سرعت جریان آزاد، از دستگاه Speed Gun مدل XR trafficpatrol که توانایی سنجش سرعت لحظه‌ای در روز و شب از فاصله‌ای بالغ بر یک کیلومتر را دارد؛ استفاده شد. به منظور جلوگیری از تأثیر کنترل سرعت بر رفتار رانندگان، محل استقرار دستگاه در فواصل و نیز مکان‌هایی انتخاب شد که در محدوده دید رانندگان قرار نگیرد. روزهای آمارگیری از روزهای عادی هفته که شرایط جوی کاملاً عادی بود انتخاب شد و داده‌های سرعت برای ۱۰۰ وسیله نقلیه سواری، مطابق توصیه HCM، به عنوان نمونه‌ای اطمینان بخش و در شرایط جریان آزاد، برداشت شد. در غربال داده‌ها از سرعت وسایل نقلیه کند رو صرف نظر شد.

میانگین‌گیری از سرعت‌های سنجش شده توسط دستگاه‌های راداری، متوسط سرعت زمانی^{۱۶} را به دست می‌دهد که برای تحلیل روابط جریان ترافیک لازم است به متوسط سرعت مکانی^{۱۷}، تبدیل شود [HCM, 2000]. در سال ۱۹۵۲، Wardrop ارتباط بین میانگین سرعت مکانی و میانگین سرعت زمانی را مطابق رابطه (۱۰) به دست آورد [Wardrop, 1952] و آئین نامه ظرفیت بزرگراه‌ها برای بیان ارتباط بین این دو سرعت رابطه (۱۱) را ارائه کرده است [HCM, 2000].

$$\bar{V}_t = \bar{V}_s + \frac{\sigma_s}{\bar{V}_s} \quad (10)$$

$$\bar{V}_s = 1.026\bar{V}_t - 3.042 \quad (11)$$

که در روابط فوق:

$$\bar{V}_t = \text{متوسط سرعت زمانی بر حسب } km/hr$$

که با استفاده از یک الگوریتم پویا (رابطه ۹) ناهمواری قطعات ۴۰۰ متری متوالی با فواصل (Interval) ده متر، بر اساس ناهمواری قطعه‌های ۱۰ متری محاسبه می‌شود.

$$IRI_{(K+1)} = IRI_K - [iri_{ik} - iri_{(jk+1)}] \quad (9)$$

در رابطه فوق:

IRI_K = ضریب ناهمواری بین المللی در قطعه ۴۰۰ متری K ام،

$IRI_{(K+1)}$ = ضریب ناهمواری بین المللی در قطعه ۴۰۰ متری $(K+1)$ ام،

iri_{ik} = ضریب ناهمواری بین المللی در اولین بخش ۱۰ متری (بخش i ام) قطعه ۴۰۰ متری K ام و $iri_{(jk+1)}$ = ضریب ناهمواری بین المللی مربوط به اولین بخش ۱۰ متری پس از آخرین بخش ۱۰ متری در قطعه ۴۰۰ متری K ام.

آشکار است تعداد قطعات مطالعاتی با توجه به معیارهای لازم در تعیین آنها، در عمل بسیار محدود می‌شود. بنابراین بعد از تحلیل داده‌های ناهمواری در محور مورد نظر، شانزده قطعه مطالعاتی با طولی حداقل برابر ۴۰۰ متر و با شرایط فوق‌الذکر انتخاب شد. ضریب ناهمواری بین المللی این قطعات مطالعاتی در محدوده ۶/۹۲ mm/m - $IRI = 1/43$ یافت شد. به منظور تطابق رفتار راننده با ناهمواری مسیر در هر یک از قطعات مطالعاتی، لازم است سرعت وسایل نقلیه پس از طی مسافت قطعه مطالعاتی مورد نظر، مورد سنجش قرار می‌گیرد. بنابر این سنجش سرعت در انتهای هر قطعه مطالعاتی انجام شد. با توجه به معیارهای در نظر گرفته شده جهت انتخاب قطعات مطالعاتی، عملاً یافتن قطعات مطالعاتی با طول بیش از ۴۰۰ متر همواره ممکن نبود. بنابر این با توجه به محدود بودن طول قطعات مطالعاتی و وارد شدن خودروها

- مقایسه تأثیر تاریکی بر سرعت جریان آزاد در سطوح مختلف ناهمواری و

- محاسبه فاکتور تعدیل ناهمواری در روشنایی روز و یا تاریکی شب بر رابطه سرعت جریان آزاد در HCM، یافته‌های تحقیق معرف آن است که میانگین و انحراف معیار سرعت جریان آزاد در روشنایی روز $(FFS_d)^{18}$ به ترتیب ۱۰۰/۹۰ و ۴/۶۹ کیلومتر بر ساعت و میانگین و انحراف معیار سرعت جریان آزاد در تاریکی شب $(FFS_n)^{19}$ به ترتیب ۹۶/۰۸ و ۳/۹۰ کیلومتر بر ساعت است. سایر شاخص‌های آماری در جدول (۳) ارائه شده است.

به منظور بررسی توزیع متغیرهای تحقیق، از آماره کولموگروف-اسمیرنوف استفاده شد. نتایج آزمون فوق نشان داد که فرض نرمال بودن سرعت جریان آزاد در روشنایی روز (FFS_d) و سرعت جریان آزاد در تاریکی شب (FFS_n) را در سطح ۰/۰۱ نمی توان رد کرد. $(p-value > 0.01)$

نمودار جعبه ای یکی از مفیدترین نمودارها برای مقایسه دو یا چند جامعه آماری است. نمودار جعبه ای نشان دهنده، کمینه، بیشینه، چارک های اول و آخر و میانه داده هاست. شکل (۱) نمودار های جعبه ای برای سرعت جریان آزاد در روشنایی روز (FFS_d) و سرعت جریان آزاد در تاریکی شب (FFS_n) را نشان می دهد. که در آن تفاوت بین دو جامعه آماری نشان داده شده است.

به منظور بررسی تفاوت بین میانگین های سرعت جریان آزاد در روشنایی روز و تاریکی شب از آزمون t دو نمونه ای استفاده می شود. نتایج آزمون نشان دهنده آن است که تفاوت معنی داری بین میانگین سرعت جریان آزاد در روشنایی روز و میانگین سرعت جریان آزاد در تاریکی شب وجود دارد. از آنجا که سطح معنی داری موضوع فوق کمتر از ۰/۰۱ است، در سطح ۰/۰۱ فرض عدم تفاوت بین میانگین ها رد می شود. نتایج آزمون t دو نمونه ای برای بررسی تفاوت بین میانگین های سرعت جریان آزاد در روشنایی روز و تاریکی شب در جدول (۴) ارائه شده است.

مدل رگرسیون خطی برازش شده بین سرعت جریان آزاد در روشنایی روز (FFS_d) و ضریب ناهمواری بین المللی (IRI) به صورت رابطه (۱۳) به دست آمد.

$$\bar{V}_s = \text{متوسط سرعت مکانی بر حسب } km/hr \text{ و } \sigma_s = \text{انحراف معیار سرعت های مکانی، حسب } km/hr$$

همانطور که از روابط فوق بر می آید، متوسط سرعت مکانی همواره از متوسط سرعت زمانی کمتر است، لیکن تفاوت آنها با افزایش سرعت، کاهش می یابد [HCM, 2000]. بر اساس مفهوم سرعت مکانی و زمانی (لحظه ای)، رابطه بین متوسط سرعت مکانی و سرعت لحظه ای قابل محاسبه است که در رابطه (۱۲) ارائه شده است.

$$\bar{V}_s = \frac{n}{\sum_{i=1}^n \frac{1}{V_i}} \quad (12)$$

در این رابطه:

$$V_i = \text{سرعت وسیله نقلیه } i \text{ ام بر حسب } km/hr \text{ و } n = \text{تعداد مشاهدات}$$

در مطالعه اخیر با استفاده از روابط (۱۱) و (۱۲)، متوسط سرعت مکانی محاسبه شد. نظر به این که تفاوت قابل ملاحظه ای در نتایج این دو رابطه حاصل نشد، بنابراین متوسط سرعت مکانی بر اساس رابطه (۱۱) محاسبه و در جدول (۲) ارائه شده است.

۵. محدودیت های مطالعه

با توجه به معیارهای لازم در انتخاب قطعات مطالعاتی، آشکار است که تعداد این قطعات در عمل بسیار محدود می شود. در این مطالعه شانزده قطعه مطالعاتی یافت شد که یکی از محدودیت های مطالعه است. بنابراین مطالعه اخیر اولین تلاش ها در زمینه موضوع تحقیق محسوب می شود. همچنین با توجه به توضیحات بند قبل امکان سنجش سرعت مکانی وجود نداشت، بنابراین با برداشت سرعت لحظه ای خودروها، میانگین سرعت زمانی محاسبه و با استفاده از رابطه HCM به متوسط سرعت مکانی تبدیل شد که خطای ناشی از آن به عنوان یکی دیگر از محدودیت های مطالعه پذیرفته می شود.

۶. تحلیل داده ها

تحلیل داده ها در چهار بخش زیر انجام می شود، شامل:

- تعیین اثر ناهمواری روسازی در روشنایی روز بر سرعت جریان آزاد

تأثیر ناهمواری روسازی راه و روشنایی بر سرعت جریان آزاد در آزادراهها

جدول ۲. سرعت جریان آزاد در روشنایی روز و تاریکی شب در ناهمواری های مختلف [زاهدی، ۱۳۸۷]

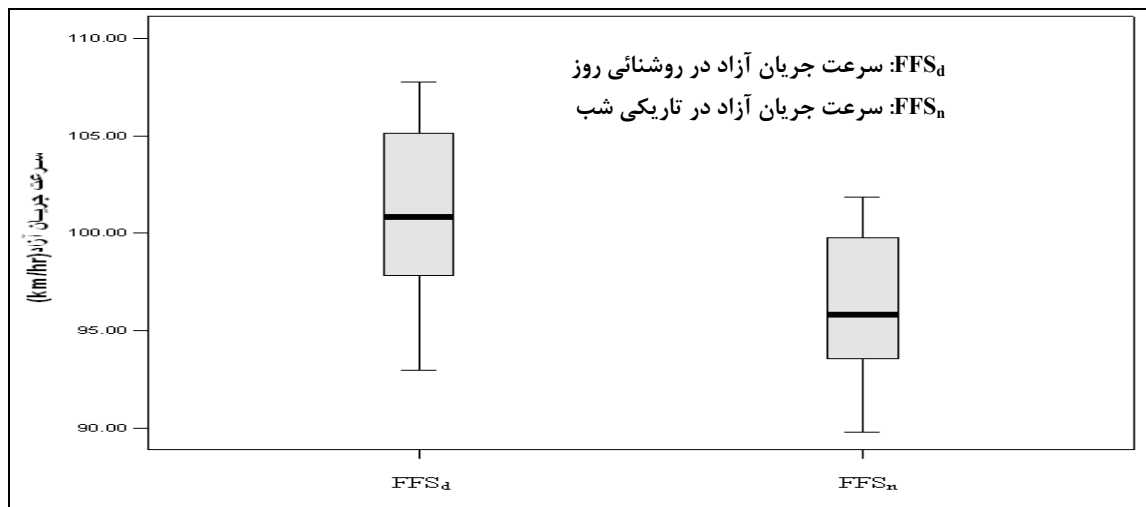
ردیف	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸	۹	۱۰	۱۱	۱۲	۱۳	۱۴	۱۵	۱۶
ناهمواری (IRI)	۳/۱	۰/۲	۰/۲	۲/۵	۳/۸	۵/۲	۳/۳	۱/۳	۱۳/۳	۱۷/۳	۷۰/۵	۳۳/۵	۸۶/۵	۸۰/۶	۳۳/۸	۸۶/۸
سرعت جریان آزاد روز (FFS _d)	۵۷/۸۰	۷۸/۸۰	۱۱۵/۰	۸۸/۲۰	۵۷/۵۰	۳۳/۸۰	۳۳/۸۰	۳۳/۸۰	۸۵/۵۵	۳۶/۵۵	۳۳/۷۵	۰۰/۷۵	۳۸/۸۵	۸۱/۵۵	۰۰/۳۵	۷۲/۵۵
سرعت جریان آزاد شب (FFS _n)	۱۶/۱۰	۶۷/۱۰	۷۸/۵۵	۵۳/۰۰	۳۳/۰۰	۳۶/۸۵	۵۲/۸۵	۵۲/۸۵	۵۳/۳۵	۷۸/۴۵	۱۳/۳۵	۱۸/۳۵	۵۷/۳۵	۳۱/۱۵	۷۸/۰۵	۷۸/۰۵

جدول ۳. شاخص های آماری سرعت جریان آزاد در روشنایی روز و تاریکی شب

متغیر	میانگین	انحراف معیار	خطای معیار میانگین	مینیمم	ماکزیمم
سرعت جریان آزاد در روشنایی روز (FFS _d)	۱۰۰/۹۰	۴/۶۹	۱/۱۷	۹۲/۹۸	۱۰۷/۷۸
سرعت جریان آزاد در تاریکی شب (FFS _n)	۹۶/۰۸	۳/۹۰	۰/۹۷۴	۸۹/۸۳	۱۰۱/۸۶

جدول ۴. نتایج آزمون t دو نمونه ای بین سرعت جریان آزاد در روشنایی روز و تاریکی شب

متغیر	در روشنایی روز		در تاریکی شب		درجه آزادی	t	p-value
	میانگین	انحراف معیار	میانگین	انحراف معیار			
سرعت جریان آزاد	۱۰۰/۹۰	۴/۶۹	۹۶/۰۸	۳/۹۰	۳۰	۳/۱۶	۰/۰۰۴



شکل ۱. نمودارهای جعبه ای برای سرعت جریان آزاد در روشنایی روز و تاریکی شب

شده $R^2 = 0.94$ ، بیان کننده آن است که ۹۴٪ تغییرات سرعت جریان آزاد در تاریکی شب توسط ضریب ناهمواری بین المللی توضیح داده می شود.

در اینجا نیز به منظور بررسی معنی داری رگرسیون از تحلیل واریانس استفاده می شود. سطح معنی داری مشاهده شده (p-value) کمتر از ۰/۰۱ محاسبه شد، که نشان دهنده آن است که رابطه خطی و معکوس (۱۴) در سطح معنی داری ۰/۰۱ توانایی توضیح تغییرات سرعت جریان آزاد در تاریکی شب، بر حسب ضریب ناهمواری بین المللی را دارد. خلاصه نتایج رگرسیون و تحلیل واریانس در جدول (۵) آمده است. نمایش تأثیر ناهمواری بر سرعت جریان آزاد در شرایط روشنایی روز و تاریکی شب در نمودار شکل (۲) ارائه می شود. همان طور که پیش تر نیز اشاره شد، شیب خطوط مدل در حالت تاریکی شب کمتر است، بنابراین حساسیت سرعت جریان آزاد به ناهمواری در شرایط تاریکی شب کمتر است.

به منظور مقایسه تأثیر تاریکی بر سرعت جریان آزاد در سطوح مختلف ناهمواری، تفاوت سرعت جریان آزاد در روشنایی روز و تاریکی شب محاسبه و در جدول (۶) ارائه شده است. داده های جدول (۶) نشان می دهد که تفاوت سرعت جریان آزاد در روشنایی روز و تاریکی شب تابع سطوح مختلف ناهمواری است. نمودار پراکنش داده های این جدول در شکل (۳) ارائه شده است.

$$FFS_d = 11229 - 2.73 \times IRI, R^2 = 0.96 \quad (13)$$

معادله رگرسیونی برازش شده دارای شیبی برابر ۲/۷۳- است، به مفهوم آنکه در صورت افزایش ضریب ناهمواری بین المللی به میزان یک واحد، به طور متوسط سرعت جریان آزاد در روشنایی روز $2/73 \text{ km/hr}$ کاهش می یابد. همچنین ضریب تعیین محاسبه شده $R^2 = 0.96$ ، بیان کننده آن است ۹۶٪ تغییرات سرعت جریان آزاد در روشنایی روز توسط ضریب ناهمواری بین المللی توضیح داده می شود.

به منظور بررسی معنی داری رگرسیون فوق از تحلیل واریانس استفاده شد. سطح معنی داری مشاهده شده (p-value) کمتر از ۰/۰۱ محاسبه شد که نشان دهنده آن است که رابطه خطی و معکوس (۱۳) در سطح معنی داری ۰/۰۱ توانایی توضیح تغییرات سرعت جریان آزاد در روشنایی روز، بر حسب ضریب ناهمواری بین المللی را دارد.

مدل رگرسیون خطی برازش شده بین سرعت جریان آزاد در تاریکی شب (FFS_d) و ضریب ناهمواری بین المللی نیز به صورت رابطه (۱۴) است.

$$FFS_n = 105.48 - 2.25 \times IRI, R^2 = 0.94 \quad (14)$$

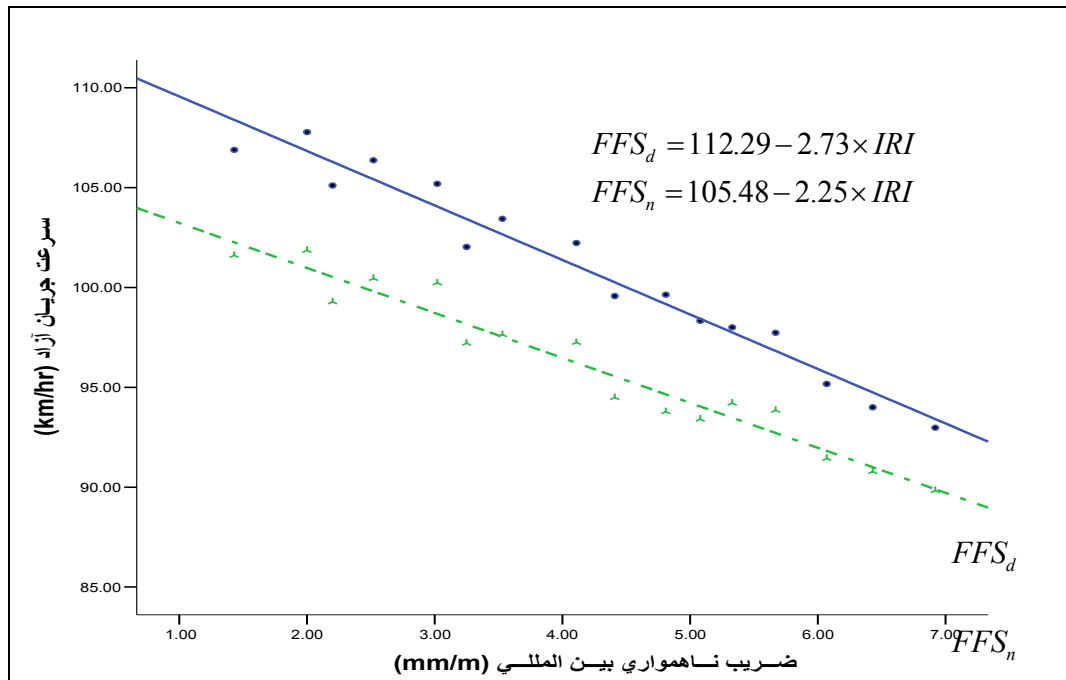
معادله رگرسیونی برازش شده دارای شیب ۲/۲۵- است، به این مفهوم که به ازای یک واحد افزایش در ضریب ناهمواری بین المللی سرعت جریان آزاد در تاریکی شب به طور متوسط $2/25 \text{ km/hr}$ کاهش می یابد. همچنین ضریب تعیین محاسبه

جدول ۵. خلاصه نتایج رگرسیون و تحلیل واریانس مدلها

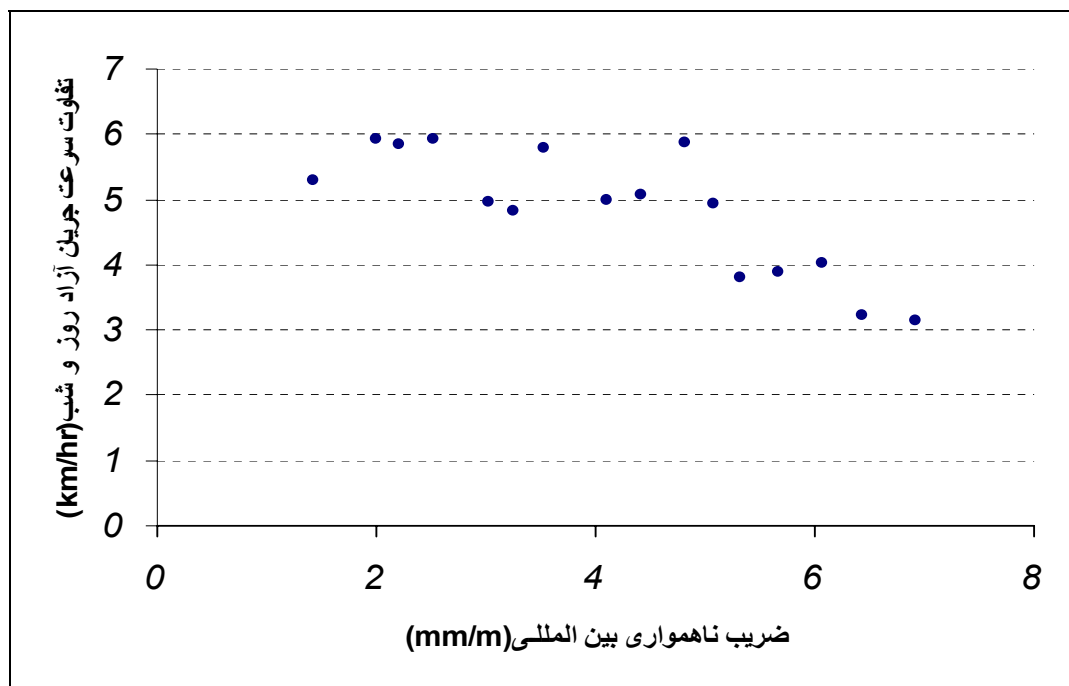
رابطه رگرسیونی بین	تعداد مشاهدات	ضریب تعیین R2	آماره F	p-value
$(IRI - FFS_d)$	۱۶	۰/۹۶	۳۳۴/۴۲	۰/۰۰۰
$(IRI - FFS_n)$	۱۶	۰/۹۴	۲۵۵/۲۷	۰/۰۰۰

جدول ۶. تفاوت سرعت جریان آزاد روز و شب در سطوح مختلف ناهمواری

ردیف (i)	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸	۹	۱۰	۱۱	۱۲	۱۳	۱۴	۱۵	۱۶
(IRI)	۱/۴۳	۲/۰۰	۲/۲۰	۲/۵۲	۳/۰۲	۳/۲۵	۳/۵۳	۴/۱۱	۴/۴۱	۴/۸۱	۵/۰۸	۵/۳۳	۵/۶۷	۶/۰۷	۶/۴۳	۶/۹۲
(Δ_{FFS_i})	۵/۲۸	۵/۹۲	۵/۸۳	۵/۹۲	۴/۹۶	۴/۸۲	۵/۸۰	۴/۹۸	۵/۰۸	۵/۸۶	۴/۹۲	۳/۷۹	۳/۸۸	۴/۰۳	۳/۲۳	۳/۱۵



شکل ۲. نمودار ناهمواری روسازی_ سرعت جریان آزاد (در دو حالت روشنایی روز و تاریکی شب)



شکل ۳. نمودار ناهمواری روسازی _ تفاوت سرعت جریان آزاد در روشنایی روز و تاریکی شب

شب و روز در حالتی که $IRI \geq 5.33$ است، لازم است معنی‌داری تفاوت بین میانگین‌های سرعت جریان آزاد شب و روز بررسی شود. به این منظور از آزمون t دو نمونه‌ای استفاده می‌شود. گرچه نتایج آزمون t دو نمونه‌ای در سطح معنی‌داری 0.01 و در حالت $IRI \geq 5.33$ تفاوت معنی‌داری را بین میانگین‌های سرعت جریان آزاد در دو حالت روشنایی روز و

داده‌های جدول (۶) و نمودار پراکنش فوق، نشان دهنده یک کاهش عمده در تفاوت سرعت جریان آزاد روز و شب در ناهمواری $IRI = 5.33$ هستند. آزمون t دو نمونه‌ای در سطح معنی‌داری 0.01 تفاوت معنی‌داری را بین میانگین‌های ΔFFS_i ها در دو حالت $IRI < 5.33$ و $IRI \geq 5.33$ نشان می‌دهد. با توجه به اختلاف کم بین سرعت جریان آزاد

رابطه HCM، فاکتورهای مورد نظر از روابط (۱۳) و (۱۴) محاسبه خواهند شد. فاکتورهای اصلاح شرایط ناهمواری روسازی و تاریکی شب جهت استفاده در رابطه (۸) در جدول زیر ارائه شده اند.

معادلات رگرسیون در ناحیه ای از متغیرها دارای اعتبارند که شامل داده های مشاهده شده باشند، در رگرسیون خطی تک متغیره ثابت می شود که عرض فاصله اطمینان برای تعیین متغیر وابسته Y بر اساس متغیر مستقل X ؛ یعنی فاصله اطمینان $E\langle y|x \rangle$ ؛ تابعی از مقدار متغیر مستقل X است به نحوی که حداقل این عرض در $X = \bar{X}$ حاصل می شود و با افزایش $|X - \bar{X}|$ این عرض افزایش می یابد. به عبارت بهتر، دقیق ترین مقادیر برآورد تابع رگرسیون، براساس داده های نزدیک به میانگین داده های متغیر مستقل ($X = \bar{X}$) حاصل شده و با نزدیک شدن به مقادیر مرزی فضای X ، دقت برآورد کاهش می یابد [Montgomery, 2006]. بنابراین ارائه فاکتورهای دقیق تر جهت اصلاح سرعت جریان آزاد براساس ناهمواری و تاریکی برای $IRI < 1.43$ و $IRI > 6.9$ ، نیازمند انجام مطالعه در محدوده های مورد نظر است.

مقایسه مقادیر جدول (۷) با فاکتور تعدیل عرض خط در معادلات سرعت جریان آزاد HCM، نشان دهنده آنست که وجود ناهمواری در حدود $IRI = 4 \text{ mm/m}$ اثری معادل کاهش عرض خط به میزان ۶۰ سانتی متر در تأمین سرعت جریان آزاد دارد. به طریق مشابه و میانمایی از جدول فوق وجود توأم تاریکی و ناهمواری در حدود $IRI = 1.70 \text{ mm/m}$ نیز اثری معادل کاهش عرض خطوط به میزان ۶۰ سانتی متر در سرعت جریان آزاد را خواهد داشت، به واقع در محور مورد مطالعه که دارای ۶ خط عبور می باشد، ناهمواری در حدود $IRI = 4 \text{ mm/m}$ و یا وجود تاریکی به انضمام ناهمواری در حدود $IRI = 1.70 \text{ mm/m}$ به مفهوم آنست که از ۳/۶ متر از عرض مسیر (به اندازه یک خط آزادراه) در تأمین سرعت جریان آزاد استفاده نشده است.

تاریکی شب نشان نمی دهد، لیکن در سطح معنی داری ۰/۰۵ بین میانگین های سرعت جریان آزاد در روشنایی روز و تاریکی شب تفاوت معنی داری وجود خواهد داشت.

به منظور تعیین اثر تاریکی بر سرعت جریان آزاد، تحت سطوح مختلف ناهمواری، میانگین تفاوت سرعت جریان آزاد در روشنایی روز و تاریکی شب برای دو گروه ناهمواری کوچک تر و بزرگ تر از $IRI = 5/33$ محاسبه می شود. مقادیر مورد نظر از روابط (۱۵) و (۱۶) به دست می آیند.

$$\bar{\Delta}_{FFS_{IRI \leq 5.33}} = \sum_{i=1}^{11} \Delta_{FFS_i}$$

$$\bar{\Delta}_{FFS_{IRI \geq 5.33}} = \sum_{i=12}^{16} \Delta_{FFS_i}$$

در روابط فوق :

$\bar{\Delta}_{FFS_{IRI(5.33)}} =$ میانگین تفاوت سرعت جریان آزاد روز و شب (برحسب km/hr)، در ناهمواری کم، (IRI کمتر از ۵/۳۳) ،
 $\bar{\Delta}_{FFS_{IRI \geq 5.33}} =$ میانگین تفاوت سرعت جریان آزاد روز و شب (برحسب km/hr)، در ناهمواری زیاد، (IRI بیشتر از ۵/۳۳) و $\Delta_{FFS_i} =$ میانگین سرعت جریان آزاد روز و شب برای ناهمواری معین برحسب km/hr است.

با استفاده از داده های جدول (۶) و توضیحات فوق می توان نتیجه گرفت در ناهمواری های کم (IRI کمتر از ۵/۳۳) به طور متوسط تاریکی منجر به کاهش سرعت جریان آزاد به میزان $\bar{\Delta}_{FFS_{IRI(5.33)}} = 5/40 \text{ km/hr}$ می شود، این در حالی است که در ناهمواری های زیاد (IRI بیشتر از ۵/۳۳) به طور متوسط تاریکی سبب کاهش سرعت جریان آزاد به میزان $3/62 \text{ km/hr} = \bar{\Delta}_{FFS_{IRI \geq 5.33}}$ می شود. در واقع در جاده های ناهموارتر، تاریکی اثر کمتری در کاهش سرعت جریان آزاد دارد.

بر اساس مطالعات میدانی انجام شده در این پژوهش و به منظور به دست آوردن فاکتورهای نوعی برای در نظر گرفتن تأثیر ناهمواری در محاسبه سرعت جریان بر اساس رابطه HCM، از رابطه (۱۳) استفاده می شود، اما به منظور در نظر گرفتن اثر توأم تاریکی و ناهمواری بر سرعت جریان محاسبه شده بر اساس

جدول ۷. فاکتور نوعی برای تصحیح سرعت جریان آزاد به علت ناهمواری در روشنایی روز و تاریکی شب

۷	۶	۵	۴	۳	۲	۱	۰	IRI برحسب (mm/m)
۱۹/۱۱	۱۶/۳۸	۱۳/۶۵	۱۰/۹۲	۸/۱۹	۵/۴۶	۲/۷۳	۰	f_{IRI_d} بر حسب (km/hr)
۲۲/۵۶	۲۰/۳۱	۱۸/۰۶	۱۵/۸۱	۱۳/۵۶	۱۱/۳۱	۹/۰۶	۶/۸۱	f_{IRI_n} بر حسب (km/hr)

۷. نتیجه گیری و پیشنهادات

بسیاری از آئین‌نامه‌های معتبر دنیا مانند HCM در محاسبه سرعت جریان آزاد، ظرفیت و سطح سرویس غالباً به معیارهای جاده ای و ترافیکی نظیر عرض خطوط، شیب مسیر، ترکیب ترافیک و... توجه می کنند. این درحالی است که عوامل دیگری نیز بر کاهش سرعت مؤثر خواهند بود. آشکار است هر عاملی که منجر به کاهش دید رانندگان و افزایش لرزش وارده به وسیله نقلیه گردد، منجر به کاهش سرعت جریان، ظرفیت و سطح سرویس جاده خواهد شد. در این تحقیق تأثیر دو عامل ناهمواری روسازی و تاریکی بر سرعت جریان آزاد در ۱۶ قطعه از آزادراهی به طول ۶۲ کیلومتر، مورد مطالعه قرار گرفت، تجزیه و تحلیل داده ها، نشانگر آنست که:

- ۱- در سطح معنی داری ۰/۰۱ رابطه خطی و معکوس، توانایی توضیح تغییرات سرعت جریان آزاد بر حسب ضریب ناهمواری بین المللی را دارد.
- ۲- حساسیت سرعت جریان آزاد به ناهمواری در تاریکی شب کمتر از حساسیت سرعت جریان آزاد به ناهمواری در روشنایی روز است، به نحوی که به ازای افزایش ضریب ناهمواری بین المللی به میزان یک واحد، به طور متوسط سرعت جریان آزاد در شب ۲/۲۵ و در روز ۲/۷۳ کیلومتر بر ساعت کاهش می یابد.
- ۳- حساسیت سرعت جریان آزاد نسبت به تاریکی در ناهمواری های کوچک‌تر، بیشتر است. این مطالعه نشان داد در ناهمواری کمتر از $IRI=5/33$ تاریکی به طور متوسط منجر به کاهش سرعت جریان آزاد به میزان $5/40 \text{ km/hr}$ می شود.
- ۴- حساسیت سرعت جریان آزاد نسبت به تاریکی در ناهمواری های بزرگ‌تر، کمتر است. این مطالعه نشان داد در ناهمواری بیش از $IRI=5/33$ تاریکی به طور متوسط سبب کاهش سرعت جریان آزاد به میزان $3/62 \text{ km/hr}$ می شود.
- ۵- وجود ناهمواری در حدود $IRI=4 \text{ mm/m}$ و یا وجود توأم تاریکی و ناهمواری در حدود $IRI=1.70 \text{ mm/m}$ اثری معادل کاهش عرض خط به میزان ۶۰ سانتی متر در کاهش سرعت جریان آزاد، خواهند داشت، که در یک آزاد راه شش خطه معادل عدم استفاده از یک خط آزاد راه در تأمین سرعت جریان آزاد است.

به طور کلی نتایج این مطالعه حاکی از کاهش معنی دار سرعت جریان آزاد و طبیعتاً ظرفیت و سطح سرویس راه‌ها، به واسطه

عوامل ناهمواری و تاریکی شب است که با توجه به رشد ترافیک در راه‌های کشور لازم است برنامه‌ریزی جامعی در خصوص نگهداری روسازی‌ها و نیز تأمین روشنایی راه‌ها انجام شود.

۸. پیشنهاد برای مطالعات بعدی

مطالعه اخیر گامی کوچک در تلفیق دانش مهندسی ترافیک با دانش مدیریت روسازی تحت عوامل محیطی است. بنابراین می توان تحقیق و پژوهش را در این زمینه توسعه داد. در این خصوص می توان به موارد زیر اشاره کرد:

- مطالعه تأثیر ناهمواری بر ظرفیت راهها.
- مطالعه تأثیر ناهمواری و روشنایی بر ظرفیت راهها.
- مطالعه تأثیر ناهمواری و بارندگی بر سرعت جریان آزاد.
- مطالعه تأثیر ناهمواری و بارندگی بر ظرفیت راهها.
- مطالعه تأثیر ناهمواری و روشنایی بر میزان و شدت تصادفات جاده‌ای.
- مطالعه تأثیر ناهمواری بر زمان سفر راههای درون شهری.

۹. سپاسگزاری

این مقاله با حمایت های حوزه معاونت برنامه ریزی و آموزش سازمان راهداری و حمل و نقل جاده ای تهیه شده است. به‌ویژه از آقای مهندس نفیسی مدیر کل اسبق برنامه‌ریزی و آموزش سازمان راهداری و حمل و نقل جاده‌ای، که از مساعدت‌های فراوان ایشان مخصوصاً در تهیه داده‌های ناهمواری استفاده شد، قدردانی می‌شود. همچنین از مساعدت‌های جناب سرهنگ برندکام، رئیس اداره مراقبت‌های الکترونیک پلیس راه کشور، جناب سرهنگ ایزدی رئیس پلیس راه استان مرکزی و جناب سرهنگ زمانخان رئیس پلیس راه ساوه-تهران و کارکنان مربوط به خاطر مساعدت و همکاری بی‌دریغشان در برداشت داده‌های سرعت، سپاسگزاری می‌شود.

۱۰. پانویس‌ها

1. Free Flow Speed (FFS)
2. Highway Capacity Manual(HCM)
3. Level of Service(LOS)
4. International Roughness Index(IRI)
5. Road Surface Profiler(RSP)
6. typical
7. Indonesian Highway Capacity Manual(IHCM)
8. Riding Comfort Index(RCI)
9. Present Serviceability Index(PSI)
10. Central Road Research Institute(CRRRI)
11. Indian Roads Congress(IRC)

-Karan, M. A., Hass, R, and Kher, R. (1978) "Effect of pavement roughness on speeds", Transportation Research Record 602, Transportation Research Board, National Research Council, Washington, D.C pp. 122-127.

-Keever, D.B., Weiss K.E., and Quarles R.C. (2001) Moving Ahead: The American Public Speaks on Roadways and Transportation in Communities. Federal Highway Administration (FHWA) Report: FHWA-OP-01-017. Washington,

-Molenaar, A. A. A. and Sweere, G. T. (1980) "Road roughness: Its evaluation and effect on riding comfort and pavement life", Transportation Research Record, 836, Transportation Research Board, National Research Council, Washington, D.C., 41-49.

- Montgomery, Douglas C. , Peck, Elizabeth A. and Vining, G. Geoffrey (2006) "Introduction to linear regression analysis", 4th Edition, John Wiley & Sons.

-Wardrop, J.G. (1952) "Some theoretical aspects of road traffic research", In Proceedings Institute of Civil Engineers, Road Engineering Division Meeting, London, Great Britain, pp. 325-362.

-Watanatada, T., Paterson, W., Bhandari, A., Harral, C., Dhreshwar, A. and Tsunokawak, K. (1987) "Description of the HDM III model", Vol. 1, The International Bank for Reconstruction and Development, World Bank, Washington, D.C. 364 /

- ابطحی فروشانی، (۱۳۸۰) "توسعه مفهوم ارزیابی وضعیت روسازی با توجه به اثر کیفیت روسازی ها بر ظرفیت راه‌های تحت جریان پیوسته"، رساله دکتری مهندسی عمران گرایش راه و ترابری، دانشگاه علم و صنعت ایران، دانشکده مهندسی عمران.

- زاهدی، (۱۳۸۷) "ارایه مدل ظرفیت بزرگراه‌ها بر اساس ناهمواری مسیر و روشنایی"، گزارش سمینار سه ماهه دوم رساله دکتر، دانشگاه تربیت مدرس، دانشکده فنی مهندسی، بخش مهندسی عمران، گروه راه و ترابری.

- "سالنامه‌های آماری کشور"، مرکز آمار ایران، سال‌های ۱۳۸۶-۱۳۵۱.

12. Vehicle Operating Cost(VOC)

13. User Comfort Rating (UCR)

14. Unevenness Index(UI)

15. Road Surface Profiler(RSP)

16. Time mean speed

17. Space mean speed

18. Free Flow Speed at day(FFSd)

19. Free Flow Speed at night(FFSn)

20. Box plot

۱۱. مراجع

-Bang, K.L. and Heshen, AI. (2002) "Development of capacity guidelines for road links and intersections for Henan and Hebei Provinces, PRC", In Proceeding of 4th. International Symposium on Highway Capacity, pp. 287-298.

- Bang, K.L., Bergh, T., Marler, N. and Mertasudira, S. (1991) "Indonesian highway capacity manual", In Proceedings of the International. Symposium on Highway Capacity (ed.Brannole, U.), Karlsruhe, 24-27 July 1991, pp.35-40.

- Brilon, W. and Ponzlet, M.(1996) "Variability of speed-flow relationships on German autobahns", Transportation Research Record 1555, Transportation Research Board, National Research Council, Washington, D.C., pp.91-98

- Chandra, S. (2004) "Effect of road roughness on capacity of two-lane roads." Journal of Transportation. Engineering, 130:3, pp. 360-364.

- India. Central Road Research Institute (1982) "Road user cost study in India", New Delhi: CRRRI.

- GEIPOT (1982) "Research on the interrelationships between costs of highway construction maintenance and utilization: Final Report on Brazil-UNDP Highway Research Project (12 Volumes). Brasilia, Brazil.

-Highway Capacity Manual (2000), Transportation Research Board, National Research Council, Washington D.C.

-Indian Roads Congress (IRC) (1993) "Manual on economic evaluation of highway projects in India.", IRC Special Publications 30, Indian Roads Congress, New Delhi, India

Effect of Pavement Roughness and Road Illumination on the Free Flow Speed in Highways

M. Saffarzadeh, Professor, Faculty of Engineering, Tarbiat Modares University, Tehran, Iran.

M. Zahedi. Ph.D. Candidate, Faculty of Engineering, Tarbiat Modares University, Tehran, Iran

Email: zahedi_mn@yahoo.com

ABSTRACT

This study is aimed at evaluating the effects of pavement roughness and darkness on the free-flow speed in the freeways. In general, most of valid codes such as Highway Capacity Manual (HCM), do not consider the effect of pavement roughness and darkness on the free-flow speed, capacity and service level of roads. In order to determine the pavement roughness condition, international roughness index (IRI) measured by Road Surface Profiler (RSP), manufactured by Dynatest Company, has been employed. Moreover, the relevant data on the pavement roughness and free-flow speed of vehicles have been recorded in the light and dark points at 16 sections of a freeway with the length of 62 km.

Speed Gun device, traffipatrol XR model, has been utilized to measure free flow speed. This device is capable to measure speed within more than one kilometer at days and nights. In order to prevent the effects of speed controlling on the behavior of drivers, the device was located in places where were not in the horizon of drivers. The results of the current study indicated that the free flow speed can be explained by the linear-inverse model based on road roughness at significant level of 0.01. Besides, the sensitivity of free flow speed to the roughness in the darkness is lower than that in the lighting. Finally, in this study typical factors to modify the roughness condition and darkness in the equations of free flow speed in the HCM method are proposed.

Keywords: Pavement roughness, illumination, international roughness index