ارایه مدلی برای پیش‌بینی مصرف سوخت وسایل نقلیه در آزادراه‌ها

مقاله پژوهشی

میلاد صفی آریان، دانشجوی کارشناسی ارشد، گروه راه و ترابری و حمل و نقل، واحد علوم و تحقیقات، دانشگاه آزاد سلامی، تهران، ایران

احمد منصوریان*، دانشیار، مرکز تحقیقات راه، مسکن و شهرسازی، تهران، ایران

علیرضا سرکار، استادیار، گروه راه و ترابری و حمل و نقل، واحد علوم و تحقیقات، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران

*پست الکترونیکی نویسنده مسئول: a.mansourian@bhrc.ac

دریافت: ۹۹/۰۱/۱۰- پذیرش: ۹۹/۰٦/۰۵

صفحه ١٥٤-١٤٣

چکیده

بررسی‌ها نشان می‌دهد از مجموع فرآورده‌های نفتی انرژی زا ، سهم قابل ملاحظه‌ای (حدود ۳۰ درصد) به مصرف بنزین اختصاص دارد؛ به‌طوری که متوسط مصرف بنزین در کشور به حدود ٩٤ میلیون لیتر در روز می‌رسد؛ بنابراین مدیریت صحیح مصرف سوخت وسائل نقلیه می‌تواند اثرات مثبتی را بر جنبه‌های اقتصادی و محیط زیستی جامعه فراهم آورد. در بین عوامل متعددی که در منجر به افزایش مصرف سوخت وسایل نقلیه می‌شوند، می‌توان به ناهمواری سطح روسازی و شیب طولی راه‌ها اشاره کرد. در تحقیق حاضر به منظور بررسی تاثیر هریک از عوامل گفته شده بر مصرف سوخت وسایل نقلیه، میزان ناهمواری سطح روسازی و شیب طولی آزاد راه‌های تهران-ساوه، تهران-کرج و تهران-قم در هر دو سمت رفت و برگشت در هر یک‌صد متر با استفاده از دستگاه نیمرخ سنج سطح راه اندازه گیری شد؛ همچنین با نصب دستگاه دیاگ بلوتوثی روی خودروی سواری دارای معاینه فنی، مقدار مصرف سوخت در هر یک از این مسیرها برای هر یک‌صد متر ثبت گردید. تحلیل های آماری انجام شده روی داده‌ها نشان می‌دهد، میزان ناهمواری روسازی راه و شیب طولی مسیر به سمت سربالایی به تنهایی یا توأمان مصرف سوخت وسیله نقلیه را به‌صورت معنی‌داری افزایش می‌دهند. در این تحقیق پس از تحلیل‌های آماری روی مصرف سوخت وسیله نقلیه مورد آزمایش، رابطه‌ای برای پیش‌بینی مصرف سوخت وسایل نقلیه در آزادراه‌ها پیشنهاد شده است. تحلیل نتایج نشان می‌دهد با اینکه افزایش ناهمواری همواره باعث افزایش مصرف سوخت می‌شود ولی آهنگ افزایش مصرف سوخت در بازه ناهمواری بزرگتر از ۲/۲ متر بر کیلومتر بیشتر از سایر دسته‌بندی‌های ناهمواری است. همچنین براساس رابطه پیشنهادی در این تحقیق و با در نظر داشتن محدودیت‌های آن (خودروی سواری با سرعت ۶۷ کیلومتر بر ساعت) می‌توان گفت به ازای افزایش یک واحد در شاخص بین‌المللی ناهمواری (یک متر بر کیلومتر)، میزان مصرف سوخت تقریباً ۲ درصد افزایش می‌یابد. بنابراین درصورت رفع خرابی‌هایی که منجر به ناهمواری راه می‌شوند، مصرف سوخت وسایل نقلیه در شبکه راه‌ها کاهش یافته و ضمن آنکه برای کاربران رضایتمندی بیشتری فراهم می‌گردد، سالانه از هدر رفتن رقم قابل ملاحظه‌ای از سرمایه ملی جلوگیری می‌شود.

واژه‌های کلیدی: ناهمواری، روسازی، شیب طولی، مصرف سوخت، نیمرخ سنج سطح راه (RSP)

۱- مقدمه

حمل و نقل جاده‌ای، یکی از بخش‌های پیشرو، با اهمیت و مزیت‌دار در حوزه حمل و نقل کشور است. هدف از روسازی جاده‌ها ایجاد سطحی هموار برای عبور و مرور راحت، سریع، مطمئن وسایل نقلیه است. به‌طور کلی می‌توان گفت رویه‌راه‌ها یکی از عناصر اصلی سازه راه است که کیفیت نامطلوب آن هزینه‌های عملیاتی از جمله مصرف سوخت بیشتر را به استفاده کنندگان از راه تحمیل می‌کند. هزینه‌های مربوط به مصرف سوخت یکی از اجزای مهم در تحلیل هزینه چرخه عمر

روسازی محسوب می‌شود. بررسی‌ها نشان می‌دهد از مجموع فرآورده‌های نفتی انرژی زا ، سهم قابل ملاحظه‌ای (حدود ۳۰ درصد) به مصرف بنزین اختصاص دارد، به‌نحوی که متوسط مصرف بنزین در کشور به حدود ۹٤ میلیون لیتر در روز می‌رسد؛ بنابراین مدیریت صحیح مصرف سوخت وسائل نقلیه می‌تواند اثرات مثبتی را بر جنبه‌های اقتصادی و محیط زیستی جامعه فراهم آورد. به‌طور کلی هزینه‌های عملیاتی وسایل نقلیه از جمله مصرف سوخت تحت تأثیر عواملی مانند تکنولوژی وسیله نقلیه، وضعیت روسازی، وضعیت هندسه راه، شرایط آب و هوایی و سرعت وسیله نقلیه است (Zaabar and Chatti, 2010). هنگامی که وسیله نقلیه در یک مسیر ناهموار با سرعت ثابت حرکت می‌کند، انرژی یا کار مکانیکی مصرف شده در سیستم تعلیق وسیله نقلیه، توسط قدرت موتور جبران می‌شود و در نتیجه مصرف سوخت افزایش می‌یابد (Louhghalam et al., 2015).

بررسی‌ها نشان می‌دهد هر چه ناهمواری بیشتر باشد، مصرف سوخت وسایل نقلیه نیز بیشتر می‌شود و در این بین روسازی‌های با سختی بیشتر می‌توانند کاهش مصرف سوخت تا ۳ درصد را به همراه داشته باشند (Li, Qiao and Lu, 2017). از جمله دلایل مربوط به مصرف سوخت بیشتر در روسازی‌های آسفالتی نسبت به روسازی‌های بتنی را می‌توان در مقاومت غلتشی بیشتر روسازی‌های آسفالتی عنوان کرد؛ البته مقدار کاهش مصرف انرژی در روسازی‌های بتنی نسبت به روسازی‌های آسفالتی (روسازی‌های با سختی بیشتر نسبت به روسازی‌های با سختی کمتر) در تحقیقات دیگر از جمله تحقیقات Jiao و Bienvenu (۲۰۱۵) برابر ٤ و ۲/۵ درصد به ترتیب برای وسایل نقلیه سنگین و سواری عنوان شده است. Zabbar و Chatti (۲۰۱۱) و Chatti و Zabbar (۲۰۱۲) نیز در تحقیقات خود عنوان کرده‌اند که کاهش ناهمواری به میزان ۱ متر در کیلومتر (۱ m/km) منجر به کاهش ۳ و ٤ درصد به ترتیب در مصرف ساخت وسایل نقلیه سواری و کامیون می‌شود. در تحقیقی، Chatti و Zaabar (۲۰۱۲) به منظور بررسی اثر وضعیت روسازی بر هزینه عملیاتی وسایل نقلیه، پس از مرور تحقیقات قبلی و همچنین اندازه‌گیری‌های میدانی نتیجه گرفتند که افزایش ناهمواری روسازی منجر به افزایش هزینه‌های عملیاتی وسایل نقلیه می‌شود و در این بین، بیشترین تأثیر ناهمواری روسازی ابتدا روی سوخت وسایل نقلیه، سپس تعمیر و نگهداری روسازی و در مرحله بعد روی سایش لاستیک وسایل نقلیه است. فخری و شورمیج (۱۳۹۳) به منظور بررسی تاثیر گزینه‌های بهسازی روسازی در دوره تحلیل ۱۰ سال بر کاهش مصرف سوخت وسایل نقلیه، مصرف سوخت را در ۱۱۷۰ کیلومتر از شبکه راه‌های شریانی استان خوزستان با استفاده از نرم افزار HDM-4 برای دو حالت کلی (نگهداری روزمره و اساسی) مورد ارزیابی قرار دادند. در این تحقیق نتیجه‌گیری شد که اجرای نگهداری اساسی در زمان مناسب، منجر به صرفه جویی بسیار زیاد در مصرف سوخت از طریق بهبود کیفیت سواری و مشخصات سطحی روسازی حاصل می شود؛ در حالی که تعمیر و نگهداری روزمره (درزگیری و لکه‌گیری)، کاهش قابل ملاحظه مصرف سوخت را به همراه نخواهد داشت (فخری و شورمیج، ۱۳۹۳). Louhghalam و همکاران (۲۰۱۵)، با ارائه مدل مکانیستیک، به صورت کمّی، اثر ویژگی‌های سطح روسازی روی مصرف سوخت وسیله نقلیه را بیان کردند. آنها در تحقیق خود اظهار داشتند که مدل‌های قبلی مانند مدل HDM-4، شاخص بین‌المللی ناهمواری (IRI[1]) را به‌عنوان پارامتر اصلی برای تشخیص میزان افزایش مصرف سوخت در نظر می‌گیرند؛ در حالی که پارامتر دیگری نیز به نام عدد موج‌داری[2] باید برای تعیین اثر ویژگی‌های سطح روسازی روی مصرف سوخت وسایل نقلیه در نظر گرفته شود (Louhghalam et al., 2015). همچنین آنها اظهار داشتند که برخلاف روابط تجربی خطی که بین IRI، مقاومت غلتشی و افزایش مصرف سوخت در HDM-4 ارائه شده است، مقدار مصرف انرژی با توان دوم IRI تغییر می‌کند (Louhghalam et al., 2015). Svenson و Fjeld (۲۰۱٦)، به منظور تعیین اثر شیب جاده، شعاع قوس و ناهمواری سطح روی مصرف سوخت کامیون حمل الوار ٦۰ تنی، از تحلیل اطلاعات در یک جاده به طول ۳۲۰ کیلومتر استفاده کردند. تحلیل رگرسیونی انجام شده در این تحقیق نشان داد که شیب جاده و وزن کامیون به‌صورت توأمان بیشترین تأثیر را بر میزان مصرف سوخت دارد؛ همچنین در این تحقیق با تحلیل رگرسیونی، اثر کمّی هر یک از پارامترهای تغییر شیب طولی، قوس افقی و ناهمواری سطح روی مصرف سوخت تعیین شد (Svenson and Fjeld, 2016). تحقیقات Li، Qiao و Lu (۲۰۱۷) روی یک نوع وسیله نقلیه نشان می‌دهد اگرچه برای تعیین ویژگی‌های بین

سرعت (و همچنین سوخت) و شاخص IRI می‌توان از مدل‌های خطی استفاده کرد؛ ولی مدل‌هایی که به نوعی نشان دهنده اثر IRI روی آلودگی هوای وسیله نقلیه هستند، پیچیده و غیر خطی هستند (Li, Qiao and Lu, 2017). Perrotta و همکارانش (٢٠١٧) براساس داده‌های زیادی که در اختیار داشتند به بررسی میزان مصرف سوخت وسایل نقلیه باری (کامیون‌ها) در راه‌های با میزان ناهمواری مختلف پرداختند. آنها در این تحقیق دو رابطه رگرسیونی با ضریب همبستگی (R^2) کمتر از ٥٠ درصد ارائه کردند که در این روابط، مصرف سوخت متغیر وابسته و درصد گشتاور موتور، شیب مسیر، تغییر نیم‌رخ طولی در طول موج ١٠ متر و عمق بافت متغیرهای مستقل بودند. از جمله نتایجی که در این تحقیق به آن اشاره شد، وابستگی حدود ٤ درصد از مصرف سوخت کامیون‌ها به مقدار ناهمواری سطح راه بود (Perrotta et al, 2017)؛ این در حالی است که Botshekan، Tootkaboni1 و Louhghalam (٢٠١٩)، اظهار داشتند که تقریباً ٨٨ تا ٩٣ درصد تغییرات مصرف انرژی وسایل نقلیه مربوط به معیارهای ناهمواری راه (IRI و عدد موج‌داری) است و این دو پارامتر مؤثرترین پارامترها در مصرف سوخت هستند (Botshekan, Tootkaboni and Louhghalam, 2019). Perrotta و همکارانش (٢٠١٨) با اندازه‌گیری میزان مصرف سوخت وسایل نقلیه مختلف و مقایسه آن با خروجی حاصل از مدل‌های HDM-4 و MIRAVEK[٣] اظهار داشتند، با وجود آنکه هر دو مدل منجر به تخمین کمتری از مصرف سوخت وسایل نقلیه می‌شوند، ولی مدل MIRVAK نتایج نسبتاً بهتری ارائه می‌دهد.Ko و همکارانش (٢٠١٦) با اندازه‌گیری میدانی مصرف سوخت سه نوع وسیله نقلیه سواری با سرعت‌های مختلف و در دو محور از راه‌های کشور کره جنوبی با میزان شیب کم و با دو مقدار ناهمواری متفاوت، اظهار داشتند که مدل‌های مندرج در نرم‌افزار HDM-4 چنانچه کالیبره نشوند می‌توانند میزان مصرف سوخت را حدود دو برابر نسبت به حالت واقعی (اندازه‌گیری شده) نشان دهند. در تحقیق دیگری Perrotta و همکارانش (٢٠١٨) پس از اندازه‌گیری مصرف سوخت وسایل نقلیه در تعدادی از راه‌های کشور انگلستان و مقایسه آن با نتایج حاصل از مدل موجود در نرم‌افزار HDM-4؛ اظهار داشتند که استفاده از این مدل در تمام موارد همیشه منجر به تخمین صحیحی از میزان مصرف سوخت وسایل نقلیه نمی‌شود؛ بنابراین قبل از استفاده از این مدل باید کالیبراسیون و تحلیل‌های لازم صورت پذیرد (Perrotta et al., 2018). بررسی تحقیقات انجام شده نشان می‌دهد که یکی از الزامات استفاده از مدل‌های ارائه شده برای برآورد مصرف سوخت وسایل نقلیه در راه‌ها، کالیبره کردن این مدل‌ها یا استفاده از مدل‌های محلی و منطقه‌ای است. با توجه به اینکه در ایران تحقیقی به‌صورت میدانی درخصوص اثر ناهمواری روسازی راه بر افزایش مصرف سوخت وسایل نقلیه با روش اندازه‌گیری مستقیم سوخت مشاهده نگردید، تحقیق حاضر به این موضوع اختصاص داده شد. برای این منظور ناهمواری روسازی، شیب طولی و مصرف سوخت در مسیر های رفت و برگشت تعدای از آزادراه‌های اطرف تهران اندازه‌گیری شد و نتایج با استفاده از روش‌های آماری تحلیل گردید. پس از بررسی وجود رابطه میان متغیّر وابسته (مصرف سوخت) با هریک از متغیّرهای مستقل (ناهمواری روسازی و شیب طولی) شدت تاثیر و جهت روابط میان متغیّرها مورد تحلیل قرار گرفت. در نهایت با ارائه رابطه رگرسیونی سعی شد میزان مصرف سوخت وسیله نقلیه برحسب مقدار ناهمواری سطح روسازی و شیب طولی برآورد گردد.

٢- روش تحقیق

در این تحقیق به منظور ارائه مدلی برای پیش‌بینی مصرف سوخت وسایل نقلیه در آزادراه‌ها، مطالعه میدانی که شامل اندازه‌گیری ناهمواری راه، شیب طولی مسیر و میزان مصرف سوخت بود، در سه آزادراه تهران-کرج، تهران-قم و تهران-ساوه در مسیرهای رفت و برگشت انجام شد. ناهمواری روسازی راه شامل فرورفتگی و برآمدگی‌ها سطح روسازی در امتداد پروفیل طولی راه با مقیاس متر بر کیلومتر (m/km)، توسط دستگاه نیمرخ سنج سطح راه (RSP[٤]) (شکل ١) و با کمک سه لیزر نصب شده در تیرک دستگاه (سمت راست، چپ و وسط) و در قطعات ١٠٠ متری اندازه گیری شد. شیب طولی مسیر نیز به صورت هم‌زمان با ناهمواری روسازی، برداشت گردید. همچنین در این تحقیق برای اندازه گیری مصرف سوخت، از وسیله نقلیه سواری (پژو پارس) که دارای معاینه فنی بوده و باد چرخ های آن نیز تنظیم شده بود، استفاده گردید (شکل ٢). برای این منظور ابتدا دستگاه دیاگ بلوتوثی به درگاه OBDII کامپیوتر خودرو متصل شد (شکل ٣)؛ سپس

با استفاده از بلوتوث، دستگاه دیاگ به تبلت دارای سیستم عامل اندروید لینک شد. کلیه اطلاعات مربوط به کامپیوتر خودرو از جمله میزان مصرف سوخت لحظه‌ای و میانگین از طریق بلوتوث بر روی تبلت نمایش داده می‌شد. شکل ٤، نمایش اطلاعات بر روی تبلت را نشان می دهد. لازم به ذکر است هنگام تغییر در سرعت وسیله نقلیه (مانند نواحی نزدیک عوارضی‌ها)، از برداشت داده‌ها در آن محدوده صرف نظر گردید.

شکل ١. دستگاه RSP برای برداشت داده های ناهمواری و شیب طولی

شکل ٢. خودروی سواری مورد استفاده برای اندازه‌گیری مصرف سوخت در مسیرهای مورد مطالعه

شکل ٣. اتصال دیاگ بلوتوثی مصرف سوخت به خودرو

شکل ٤. نمایش مصرف سوخت بر روی تبلت متصل به خودرو

داده‌های مربوط به میزان مصرف سوخت با استفاده از ثبت و فیلمبرداری از روی صفحه تبلت برداشت شد؛ به این ترتیب که ابتدا با وارد کردن مختصات شروع مسیر (برگرفته از مرحله برداشت ناهمواری) در Google map و تعیین محل دقیق نقطه با با کمک سیستم تعیین موقعیت ماهواره‌ای (GPS)، در نقطه شروع هر مسیر استقرار انجام شد. پس از صفر کردن اطلاعات TRIP کیلومتر شمار، خودرو با سرعت ثابت ٦٧ کیلومتر بر ساعت و با دنده ٤ بر روی مسیر حرکت کرده و هر یک‌صد متر با قرائت کیلومتر شمار خودرو، صدا در فیلم ثبت گردید. علت انتخاب سرعت ٦٧ کیلومتر برساعت آن بود که پس از سعی و خطاهای مختلف مشخص شد در این سرعت حرکت یکنواخت وسیله نقلیه مورد آزمایش در مسیرهای مختلف فراهم می‌شد. در بخش‌هایی از مسیرهای مورد بررسی، به دلیل قرار گرفتن خودروهای عبوری در جلوی خودروی آزمایش و یا عدم تثبیت سرعت بر روی ٦٧ کیلومتر در ساعت، داده‌های مربوط به مصرف سوخت حذف گردید. همچنین در محدوده تقریباً ٥٠٠ متری عوارضی‌ها به دلیل وجود ترافیک، حرکت با سرعت ٦٧ کیلومتر بر ساعت مقدور نبود؛ بنابراین از اندازه‌گیری مصرف سوخت در این نواحی نیز صرف نظر شد.

تحلیل‌های آماری انجام شده در این تحقیق، در سطح اطمینان ٩٥ درصد (خطای ٥ درصد) انجام شد. جدول ١، تعداد داده برداشت شده در هر یک از ٦ مسیر پیمایش شده را نشان می‌دهد.

جدول ١. تعداد داده برداشت شده در هر یک از ٦ مسیر پیمایش شده

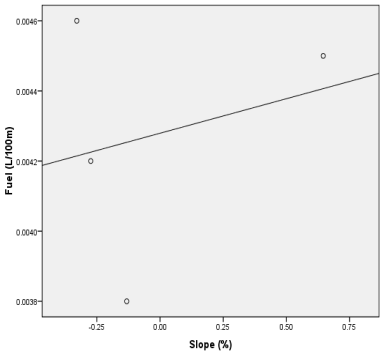
نام محور	تعداد داده برداشت شده برای هر متغیر مورد بررسی
آزادراه تهران-ساوه-رفت	١٦٩
آزادراه تهران-ساوه-برگشت	١٨٥
آزادراه تهران-قم-رفت	١٤١
آزادراه تهران-قم-برگشت	١٦١
آزادراه تهران-کرج-رفت	٥٢
آزادراه تهران-کرج-برگشت	٥١

٣- تجزیه و تحلیل داده‌ها

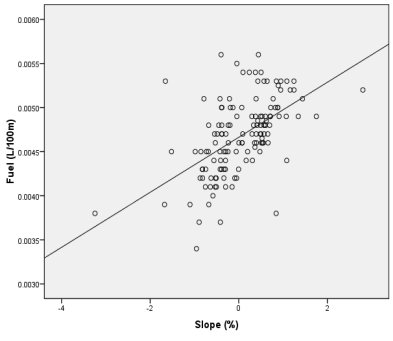
به منظور بررسی اثر هر یک از متغیرهای مورد بررسی (ناهمواری و شیب طولی) بر میزان مصرف سوخت، ابتدا هر یک از این متغیرها به محدوده‌های مشخصی تقسیم‌بندی شد و در ادامه در هر محدوده، تحلیل‌های آماری انجام پذیرفت.

٣-١- تحلیل داده‌ها براساس دسته‌بندی ناهمواری‌های مختلف

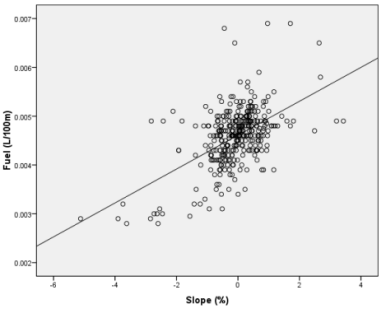
ناهمواری قطعه‌های یک‌صد متری موجود در هر یک از شش مسیر مورد پژوهش در هر یک از محدوده‌های ٠ تا ١/٢، ١/٢ تا ١/٦، ١/٦ تا ٢/٢ و بزرگتر از ٢/٢ متر بر کیلومتر، دسته‌بندی شده و برای انجام تحلیل وارد نرم‌افزار SPSS گردید. لازم به ذکر است ناهمواری‌ها براساس نتایج پروژه تحقیقاتی انجام شده در پژوهشکده حمل و نقل (١٣٨٩) که طی بخش‌نامه شماره ٢٧٢٤٥/١٠٠/٠٢ مورخ ١٣٩٥/٦/٩ وزارت راه و شهرسازی نیز برای نحوه تحویل راه‌های احداث شده براساس شاخص بین‌المللی ناهمواری راه (IRI) ابلاغ شده، صورت پذیرفته است. با انجام تحلیل آماری توصیفی بر روی این داده‌ها، نمودار پراکندگی مندرج در شکل ٥، به‌دست آمد. پس از رسم خط همبستگی مشخص شد رابطه‌ای با روند کلی مثبت میان شیب طولی راه و مصرف سوخت وسیله نقلیه در هر یک از محدوده ناهمواری‌های گفته‌شده وجود دارد. در ادامه با استفاده از نرم‌افزار SPSS و آماره‌های موجود از جمله آزمون تحلیل واریانس، ضمن بررسی تأثیر متغیر مورد بررسی روی مصرف سوخت، وجود همبستگی میان این دو متغیر نیز در سطح اطمینان ٩٥ درصد بررسی گردید. جداول ٢ و ٣ نتایج این قسمت از تحلیل را نشان می‌دهند. نرمال بودن داده‌ها با انجام آزمون کولموگروف-اسمیرنوف انجام شد. همان‌طور که در جدول ٣ مشاهده می‌شود، در هر یک از محدوده‌های مورد بررسی، همبستگی یکسانی بین میزان مصرف سوخت و شیب طولی، وجود ندارد. لازم به ذکر است برای تعیین رابطه رگرسیونی علاوه بر رابطه خطی، روابط لگاریتمی و توانی نیز بین متغیرها بررسی شد که نتیجه بررسی‌ها نشان داد در حالت کلی روابط رگرسیونی خطی به ضریب همبستگی بیشتری منجر می‌شوند. همچنین همان‌طور که در جدول ٣ مشاهده می‌شود، ضریب متغیر شیب در رابطه مربوط به دسته‌بندی ناهمواری بزرگتر از ٢/٢ متر بر کیلومتر بزرگتر از ضریب متغیر مذکور در دسته‌بندی‌های دیگر ناهمواری است؛ به عبارت دیگر می‌توان گفت آهنگ افزایش مصرف در بازه ناهمواری بزرگتر از ٢/٢ متر بر کیلومتر بیشتر از سایر دسته‌بندی‌های ناهمواری است.



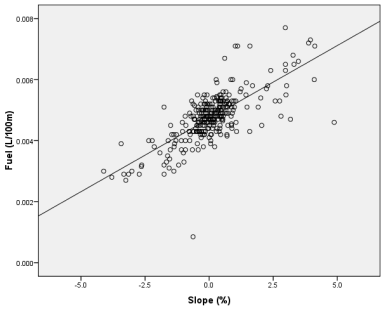
الف- ناهمواری صفر تا ١/٢ متر بر کیلومتر



ب- ناهمواری ١/٢ تا ١/٦ متر بر کیلومتر



پ- ناهمواری ١/٦ تا ٢/٢ متر بر کیلومتر



ت- ناهمواری بزرگتر از ٢/٢ متر بر کیلومتر

شکل ٥. پراکندگی مصرف سوخت – شیب طولی مسیر در مسیرهای با ناهمواری مختلف

جدول ٢. توصیف داده ناهمواری‌های روسازی در مسیرهای مورد بررسی

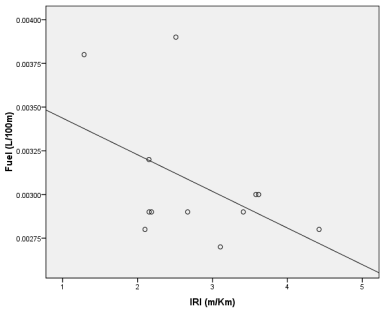
حدود تغییرات ناهمواری (متر بر کیلومتر)	وضعیت شیب مسیر	تعداد داده‌ها	روند کلی رابطه شیب طولی-مصرف سوخت
صفر تا ١/٢	اغلب هموار	٤	مثبت
١/٢ تا ١/٦	انواع شیب	١٣٥	مثبت
١/٦ تا ٢/٢	شیب ٠/٣ تا ١ و سربالایی	١٣٠	مثبت
٢/٢ و بیشتر	شیب ٠/٣ تا ١ و سربالایی	٢٩٠	مثبت

جدول ٣. نتایج تحلیل رگرسیون خطی رابطه شیب طولی-مصرف سوخت برای محدوده ناهمواری‌های مختلف

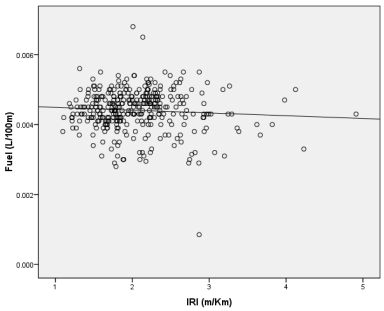
نام داده مورد بررسی	سطح معنی داری تحلیل واریانس (Sig.)	رابطه رگرسیونی* (F=سوخت (لیتر در صد متر) و S=شیب)	ضریب همبستگی تعدیل شده (R^2)
ناهمواری صفر تا ١/٢ متر بر کیلومتر	٠/٠٤٩	$F = 0.00036 \times S + 0.004$	٨٥
ناهمواری ١/٢ تا ١/٦ متر بر کیلومتر	٠/٠٠٠١	$F = 0.00031 \times S + 0.005$	٢٩/٤
ناهمواری ١/٦ تا ٢/٢ متر بر کیلومتر	٠/٠٠٠١	$F = 0.00035 \times S + 0.005$	٢٨/٥
ناهمواری بزرگتر از ٢/٢ متر بر کیلومتر	٠/٠٠٠١	$F = 0.00048 \times S + 0.005$	٥٣/٥

٣-٢- تحلیل داده‌ها براساس دسته‌بندی شیب‌های مختلف

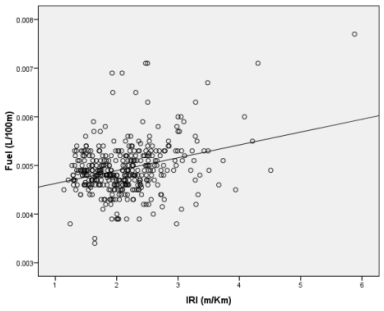
براساس آیین‌نامه طرح هندسی راههای ایران (نشریه شماره ٤٥١ سازمان برنامه و بودجه کشور)، حداکثر شیب طولی آزادراها ٦ درصد و حداقل آن تقریبا ٠/٣ درصد است. بنابراین در این قسمت از تحقیق شیب‌های موجود در هر یک از قطعات ١٠٠ متری برداشت شده به محدوده‌های ٦- تا ٣-، ٣- تا ٠/٣-، ٠/٣ تا ٣ و ٣ تا ٦ درصد دسته‌بندی شده و برای انجام تحلیل وارد نرم افزار SPSS گردید. با انجام تحلیل آماری توصیفی روی این داده‌ها، نمودار پراکندگی مندرج در شکل ٦، به‌دست آمد. پس از رسم خط همبستگی مشخص شد، تغییرات یکسانی میان ناهمواری روسازی و مصرف سوخت وسیله نقیله در هر یک از محدوده شیب‌های گفته‌شده وجود ندارد. به‌طوری که در محدوده شیب‌های منفی این روند کاهشی و در محدوده شیب‌های مثبت روند مذکور افزایشی است. در ادامه با استفاده از نرم‌افزار SPSS و آماره‌های موجود از جمله آزمون تحلیل واریانس، ضمن بررسی تأثیر متغیر مورد بررسی روی مصرف سوخت، وجود همبستگی میان این دو متغیر نیز در سطح اطمینان ٩٥ درصد بررسی گردید. جداول ٤ و ٥ نتایج این قسمت از تحلیل را نشان می‌دهند. همان‌طور که در جدول ٥ مشاهده می‌شود، در هر یک از محدوده‌های مورد بررسی، همبستگی یکسانی بین میزان مصرف سوخت و ناهمواری وجود ندارد.



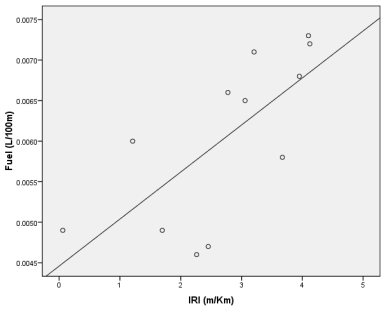
الف- شیب ٦- تا ٣- درصد



ب- شیب ٣- تا ٠/٣- درصد



پ- شیب ٠/٣ تا ٣ درصد



ت- شیب ٣ تا ٦ درصد

شکل ٦. پراکندگی مصرف سوخت – ناهمواری روسازی راه

جدول ٤. توصیف داده شیب‌های طولی در مسیرهای بررسی شده

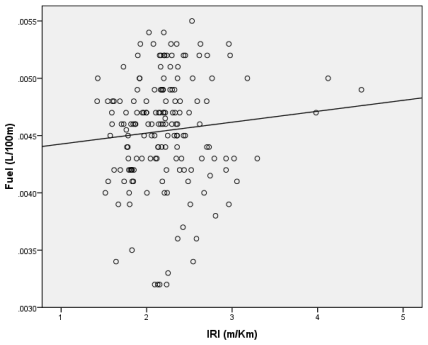
نام داده مورد بررسی	حدود تغییرات ناهمواری (متر بر کیلومتر)	وضعیت شیب مسیر	تعدادداده‌ها	روند کلی رابطه ناهمواری-مصرف سوخت
شیب طولی ٦- تا ٣- درصد	٢/٢ تا ٣/٨	سرازیری	١٢	منفی
شیب طولی ٣- تا ٠/٣- درصد	١/٢ تا ٣/٤	سرازیری	٣٥٧	منفی
شیب طولی ٠/٣ تا ٣ درصد	١/٤ تا ٣/٢	سربالایی	٣٧٧	مثبت
شیب طولی ٣ تا ٦ درصد	١/٨ تا ٤	سربالایی	١٢	مثبت

جدول ۵. نتایج تحلیل رگرسیون خطی رابطه ناهمواری- مصرف سوخت برای محدوده شیب‌های طولی مختلف

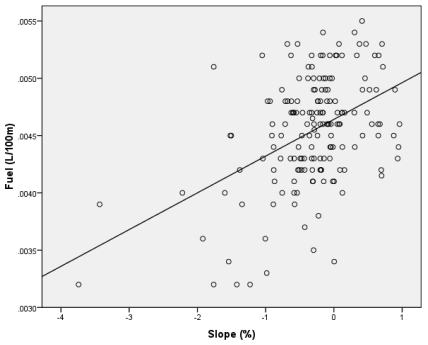
نام داده مورد بررسی	سطح معنی داری تحلیل واریانس (Sig.)	رابطه رگرسیونی* (F=سوخت (لیتر در صد متر) و R=متر بر کیلومتر)	ضریب همبستگی تعدیل شده (R^2)
شیب طولی ٦- تا ٣-درصد	۰/۰٤٧	F = -0.0002 × R + 0.004	٢٤/٢
شیب طولی ٣- تا ۰/٣- درصد	۰/۱۸۲	-	۰/۲
شیب طولی ۰/٣تادرصد	۰/۰۰۰۱	F = 0.00026 × R + 0.004	۸/۸
شیب طولی ٣ تا ٦درصد	۰/۰۱	F = 0.0006 × R + 0.004	٤٤/٩

۳-۳- تحلیل داده‌های تجمیعی

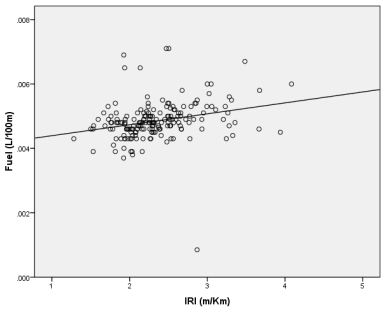
با توجه به عدم دست‌یابی به رابطه‌ای با ضریب همبستگی زیاد بین متغیرهای مورد بررسی، با توجه به اینکه شرایط کلی آزادراه‌های برداشت شده مانند نوع رویه آسفالتی و شرایط متوسط آب و هوایی یکسان بود، تصمیم بر آن گرفته شد تا ارتباط احتمالی بین داده‌های تجمیع‌شده نیز بررسی گردد. شکل‌های ۷، ۸ و ۹ پراکندگی مصرف سوخت – ناهمواری و پراکندگی مصرف سوخت – شیب طولی را به ترتیب در هر یک از آزادراه‌های تهران-ساوه، تهران-قم و تهران- کرج نشان می‌دهند.



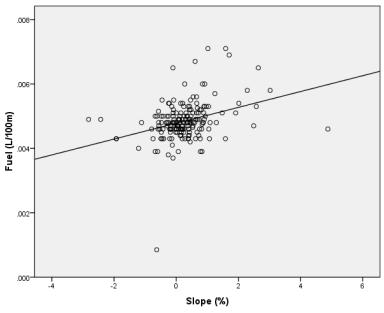
پراکندگی مصرف سوخت-ناهمواری روسازی آزادراه تهران-ساوه-رفت



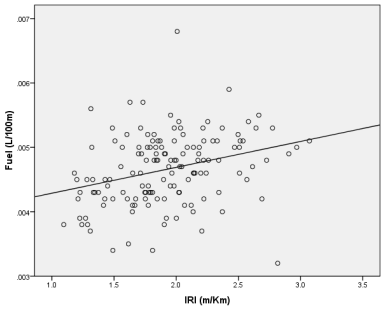
پراکندگی مصرف سوخت – شیب طولی مسیر آزادراه تهران-ساوه-رفت



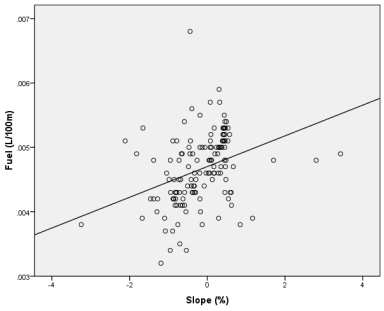
پراکندگی مصرف سوخت – ناهمواری روسازی آزادراه تهران-ساوه-برگشت



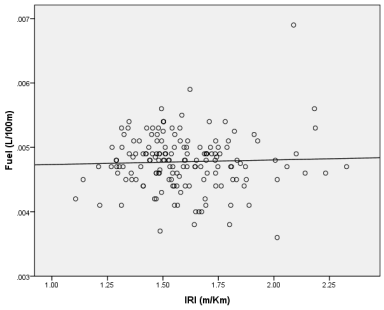
پراکندگی مصرف سوخت – شیب طولی مسیر آزادراه تهران-ساوه-برگشت



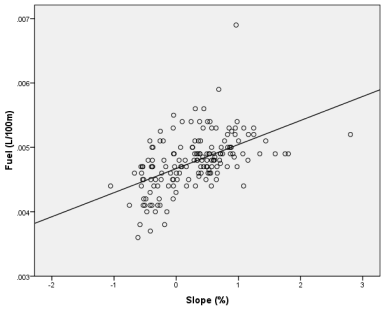
پراکندگی مصرف سوخت – ناهمواری روسازی آزادراه تهران-قم-رفت



پراکندگی مصرف سوخت – شیب طولی مسیر آزادراه تهران-قم-رفت

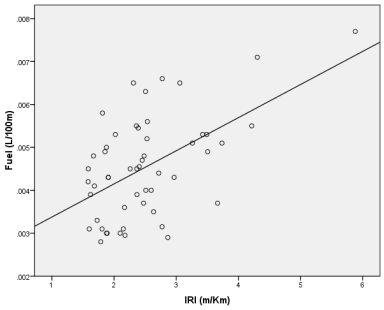


پراکندگی مصرف سوخت – ناهمواری روسازی آزادراه تهران-قم-برگشت

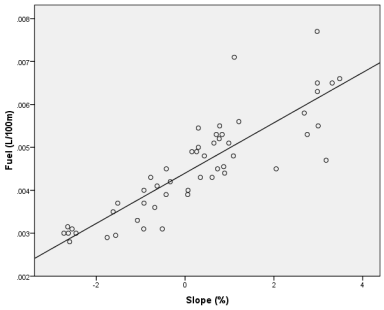


پراکندگی مصرف سوخت – شیب طولی مسیر آزادراه تهران-قم-برگشت

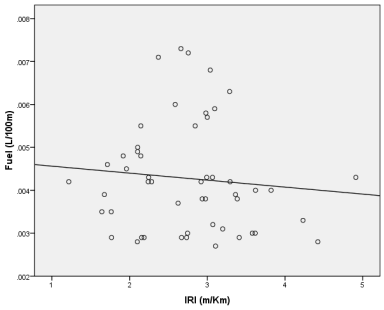
شکل ۸. پراکندگی مصرف سوخت – ناهمواری و مصرف سوخت – شیب طولی در آزادراه تهران- قم



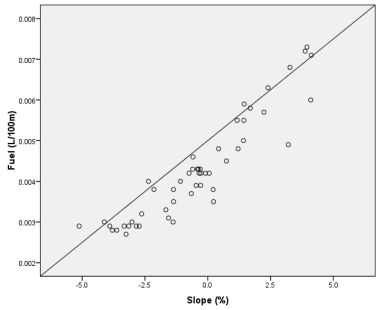
پراکندگی مصرف سوخت – ناهمواری روسازی آزادراه تهران-کرج-رفت



پراکندگی مصرف سوخت – شیب طولی مسیر آزادراه تهران-کرج-رفت



پراکندگی مصرف سوخت – ناهمواری روسازی آزادراه تهران-کرج-برگشت



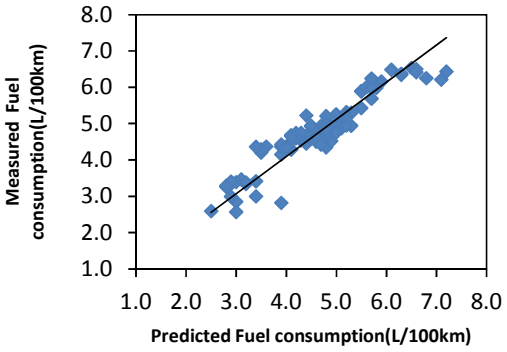
پراکندگی مصرف سوخت – شیب طولی مسیر آزاراه تهران-کرج-برگشت

شکل ۹. پراکندگی مصرف سوخت – ناهمواری و مصرف سوخت – شیب طولی در آزادراه تهران-کرج

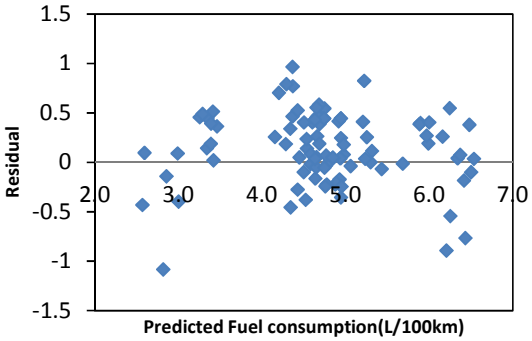
با تحلیل رگرسیونی متعدد (خطی، لگاریتمی و توانی) روی حدود ٦٦٠ داده در سه مسیر آزادراهی تهران-کرج، تهران-قم و تهران- ساوه بصورت رفت و برگشت، در سطح اطمینان ٩٥ درصد، رابطه (١) به عنوان رابطه پیشنهادی برای محاسبه میزان مصرف سوخت در آزادراه برحسب دو پارامتر ناهمواری روسازی و شیب طولی مسیر پیشنهاد می‌شود.

$$Fuel = 0.099\times IRI + 0.41\times S + 4.45 \qquad r=0.65 \qquad (1)$$

در این رابطه Fuel میزان مصرف سوخت برحسب لیتر در ١٠٠ کیلومتر، IRI میزان شاخص بین‌المللی ناهمواری برحسب متر برکیلومتر و Slope قدرمطلق شیب طولی مسیر برحسب درصد است. به منظور اعتبار سنجی رابطه پیشنهادی (رابطه ١)، اطلاعات مربوط به ٩٨ اندازه‌گیری در قطعات مورد بررسی که در مدل‌سازی به‌کار برده نشده بود، برای این مرحله استفاده شد. شکل (١٠)، مقادیر پیش‌بینی شده برای مصرف سوخت را در برابر مقادیر مشاهده شده نشان می‌دهد. همان‌طور که در این شکل ملاحظه می‌شود، این دو مقدار در حد مناسبی به یکدیگر نزدیک هستند (مقادیر مشاهده شده و پیش‌بینی شده تا حدود زیادی نزدیک به خط تعادل ٤٥ درجه قرار دارند). شکل (١١) نیز تغییرات مقادیر باقیمانده (محاسبه شده منهای مشاهده شده) را نشان می‌دهد. در این شکل به علت تشکیل ابر حول خط افقی صفر، می‌توان اظهار داشت که توزیع باقیمانده‌ها به‌صورت تصادفی است یا به عبارت دیگر انتخاب نمونه از جامعه مربوطه به صورت تصادفی انجام شده است. براساس رابطه پیشنهادی در این تحقیق (رابطه ١) می‌توان گفت، برای وسیله نقلیه مورد آزمایش در این تحقیق (از نوع سواری) و با سرعت مورد آزمایش (٦٧ کیلومتر بر ساعت)، به ازای افزایش یک واحد در شاخص بین‌المللی ناهمواری (یک متر بر کیلومتر)، میزان مصرف سوخت تقریباً ٢ درصد افزایش می‌یابد. با نگرش به بزرگی این عدد در حالتی که تمام وسایل نقلیه عبوری از مسیرهای مختلف درنظر گرفته شود، با اقدام به موقع برای ترمیم و اصلاح روسازی مسیر می‌توان از به هدر رفتن مقدار قابل ملاحظه‌ای از سرمایه ملی کشور جلوگیری کرد.



شکل ١٠. مقادیر پیش‌بینی شده در برابر مقادیر مشاهده شده برای مصرف سوخت



شکل ١١. تغییرات مقادیر باقیمانده

(محاسبه شده منهای مشاهده شده) بر حسب مقادیر محاسبه شده

٤- نتیجه‌گیری

در این تحقیق به منظور برآورد مقدار سوخت وسیله نقلیه برحسب دو پارامتر ناهمواری سطح روسازی و شیب جاده در سه آزادراه اطراف تهران، ابتدا میزان ناهمواری توسط نیمرخ‌نگار سطح جاده (RSP) در قطعات ١٠٠ به همراه شیب طولی جاده اندازه‌گیری شد؛ سپس برای اندازه‌گیری مصرف سوخت از دستگاه دیاگ متصل به درگاه OBDII کامپیوتر خودرو استفاده گردید. نتایج تحقیق:

١- ناهمواری روسازی راه، مصرف سوخت وسیله نقلیه را به‌صورت معنی داری افزایش می دهد.

٢- با افزایش شیب طولی مسیر در سربالایی، مصرف سوخت وسیله نقلیه به‌صورت معنی‌دار افزایش می‌یابد؛ همچنین با توجه به تاثیر توأمان دو متغیّر شیب طولی مسیر و ناهمواری روسازی راه بر میزان مصرف سوخت، افزایش آنها به‌طور توامان بر متغیّر وابسته (مصرف سوخت) تأثیر می‌گذارد و مصرف سوخت را در شیب طولی مثبت (سربالایی‌ها) به صورت معنی داری افزایش می‌دهد.

٣- تحلیل نتایج نشان می‌دهد با اینکه افزایش ناهمواری همواره باعث افزایش مصرف سوخت می شود ولی آهنگ افزایش مصرف سوخت در بازه ناهمواری بزرگتر از ٢/٢ متر بر کیلومتر بیشتر از سایر دسته‌بندی‌های ناهمواری است.

٤- رابطه کلی محاسبه مصرف سوخت به کمک میزان ناهمواری روسازی و شیب طولی مسیر را می توان مطابق با رابطه (١) پیشنهاد کرد. براساس این رابطه می‌توان گفت که درصورت رفع خرابی‌هایی که منجر به ناهمواری راه می‌شوند، مصرف سوخت وسایل نقلیه در شبکه راه‌ها کاهش یافته و سالانه از به هدر رفتن رقم قابل ملاحظه‌ای از سرمایه ملی جلوگیری می‌شود. نتایج پژوهش حاضر براساس تحلیل داده‌ها روی یک نوع وسیله نقلیه و در آزادراه‌های مجاور استان تهران

و صرفاً براساس دو پارامتر شیب طولی و میزان شاخص بین‌المللی ناهمواری است؛ بنابراین برای تعمیم این نتایج به انواع دیگر راه یا وسایل نقلیه دیگر و همچنین مقایسه آن با روابطی که در آنها از متغیرهای بیشتر یا کمتر استفاده شده است، بررسی‌های بیشر ضروری به‌نظر می‌رسد.

٥- سپاسگزاری

نویسندگان مقاله مراتب قدردانی خود را از سازمان راهداری و حمل و نقل جاده‌ای به جهت در اختیار قراردادن اطلاعات مربوط به ناهمواری و شیب طولی مسیرهای مورد بررسی، ابراز می‌دارند.

٦- پی‌نوشت‌ها

1. International Roughness Index
2. Waviness number
3. Modelling Infrastructure influence on RoAd Vehicle Energy Consumption
4. Road Surface Profiler
5. Global Positioning System

٧- مراجع

- (١٣٨٩)، "حدود شاخص بین‌المللی ناهمواری (IRI) برای راه‌های ایران"، پژوهشکده حمل و نقل.

-Botshekan, M., Tootkaboni, M.P. and Louhghalam, A., (2019), "Global Sensitivity of Roughness-Induced Fuel Consumption to Road Surface Parameters and Car Dynamic Characteristics", Transportation Research Record, 2673(2), pp.183-193.

- Chatti, K. and Zaabar, I., (2012), "Estimating the effects of pavement condition on vehicle operating costs", National Cooperative Highway Research Program (NCHRP-Report 720), transportation Research Board, Washington, D.C.

-Fakhri, M., Shourmeij, E., (2014), "Evaluation Effect of Pavement Condition on Vehicle Fuel Consumption Using HDM-4 Software", Journal of Transportation, 11(2), pp. 159-171 (in Persian).

-Jiao, X. and Bienvenu, M., (2015), "Field measurement and calibration of HDM-4 fuel consumption model on interstate highway in Florida", International Journal of Transportation Science and Technology, 4(1), pp.29-45.

-Ko, K.H., Moon, B.K., Lee, T.W., Lee, W.H., Yoo, I.Y., Lee, S.Y., Han, D.S. and Jeong, S.H., (2016), "An economic calibration method for fuel consumption model in HDM4", Wireless Personal Communications, 89(3), pp.959-975.

-Li, Q., Qiao, F. and Yu, L., (2017), "How the roadway pavement roughness impacts vehicle emissions?", Environment Pollution and Climate Change, 1(3), pp. 1-4.

-Louhghalam, A., Akbarian, M. and Ulm, F.J., (2015), "Roughness-induced pavement–vehicle interactions: key parameters and impact on vehicle fuel consumption", Transportation Research Record, 2525(1), pp.62-70.

- Perrotta, F., Parry, T., Neves, L.C., Buckland, T., Benbow, E. and Viner, H., (2018), "Comparison of truck fuel consumption measurements with results of existing models and implications for road pavement LCA", 6th International Symposium on Life-Cycle Civil Engineering.

-Perrotta, F., Parry, T., Neves, L.A., Buckland, T. and Mesgarpour, M., (2018), "Comparison of HDM-4 fuel consumption estimates with real measurements from trucks on motorways: a UK case study", The 97th Annual Meeting of Transportation Research Board, , Washington DC.

- Perrotta, F., Trupia, L., Parry, T. and Neves, L.C., (2017), "Route level analysis of road pavement surface condition and truck fleet fuel consumption", In Pavement Life-Cycle Assessment, CRC Press. pp. 61-68.

- Svenson, G. and Fjeld, D., (2016), "The impact of road geometry and surface roughness on fuel consumption of logging trucks", Scandinavian journal of forest research, 31(5), pp.526-536.

- Zaabar, I. and Chatti, K., (2010), "Calibration of HDM-4 models for estimating the effect of pavement roughness on fuel consumption for US conditions", Transportation Research record, 2155(1), pp.105-116.

- Zaabar, I. and Chatti, K., (2011), "A field investigation of the effect of pavement type on fuel consumption", In Transportation and Development Institute Congress 2011: Integrated Transportation and Development for a Better Tomorrow, pp. 772-781.

Propose a Model for Predicting the Vehicle Fuel Consumption in Freeways

Milad Safiarian, M.Sc., Student, Department of Highway and Transportation Engineering, Science and Research Branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran.

Ahmad Mansourian, Associate Professor, Department of Bitumen and Asphalt, Road, Housing and Urban Development Research Center, Tehran, Iran.

Alireza Sarkar, Assistance Professor, Department of Highway and Transportation Engineering, Science and Research Branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran.

E-mail: a.mansourian@bhrc.ac.ir

Received: March 2020-Accepted: September 2020

ABSTRACT

Studies show that of all petroleum products, a significant share (about 30%) is allocated to gasoline consumption; therefore, proper management of vehicle fuel consumption can have positive effects on economic and environmental aspects. In the present study, in order to investigate the effect of the pavement roughness and the longitudinal slope on fuel consumption, the pavement roughness and the longitudinal slope of three freeways including Tehran-Saveh, Tehran-Karaj and Tehran-Qom freeways, were measured in one hundred sections using a road surface profiler. Furthermore, by installing a Bluetooth diagram on the test vehicle, the amount of the fuel consumption was recorded for each section. Statistical analysis of the data showed that the pavement roughness and the longitudinal slope increase the vehicle fuel consumption significantly. In this study, an equation was proposed to predict the fuel consumption of the vehicles on freeways. According to the proposed equation, Fuel consumption increases 2 percent when International roughness index increases 1m/km.

Keywords: Roughness, Pavement, Longitudinal Slope, Fuel Consumption, Road Surface Profiler