بررسی اثر شرایط آب و هوایی بر سرعت متوسط تردد خودروها

مقاله علمی - پژوهشی

علی فرزانه موحد، دانش آموخته کارشناسی ارشد، گروه حمل و نقل، دانشکده عمران و محیط زیست، دانشگاه صنعتی امیرکبیر، تهران، ایران
علیرضا ناصری، دانش آموخته کارشناسی ارشد، گروه راه و ترابری، دانشکده عمران و محیط زیست، دانشگاه صنعتی امیرکبیر، تهران، ایران
علیرضا علی‌اکبری، دانش آموخته کارشناسی ارشد، گروه راه و ترابری، دانشکده عمران و محیط زیست، دانشگاه صنعتی امیرکبیر، تهران، ایران
فریدون مقدس‌نژاد*، استاد، گروه راه و ترابری زیست، دانشگاه صنعتی امیرکبیر، تهران، ایران
*پست الکترونیکی نویسنده مسئول: moghadas@aut.ac.ir

دریافت: ۱۴۰۱/۰۹/۰۲- پذیرش: ۱۴۰۲/۰۱/۲۵
صفحه ۱۱۴-۱۰۳

چکیده

تغییرات شرایط آب و هوایی به‌خصوص بارش باران تأثیر زیادی بر رفتار رانندگان دارد. با توجه به این موضوع و همچنین اهمیت خطاهای انسانی در تصادفات جاده‌ای، بررسی تغییرات رفتار رانندگان در شرایط جوی مختلف برای کارشناسان اهمیت پیدا می‌کند. در این تحقیق به بررسی تغییرات ایجاد شده بر روی سرعت متوسط حرکت وسایل نقلیه در شرایط آب و هوایی مختلف پرداخته شده است. منطقه مورد بررسی این پژوهش محور رشت-خمام در شهر رشت با بیشترین میزان بارش سالیانه در کشور است. داده‌های این پژوهش نیز مربوط به سال‌های ۱۳۹۶ و ۱۳۹۷ می‌شود. جهت تحلیل سرعت متوسط به عنوان متغیر وابسته بر اساس متغیرهای مستقل شامل شدت جریان عبوری، میزان بارش، دید افقی، درصد وسایل نقلیه سنگین و روشنایی، از مدل رگرسیون خطی استفاده شده است. براساس مدل نهایی بدست آمده حجم تردد بیش از ۱۰۵۰ وسیله نقلیه بر ساعت، رانندگی در شب و بارندگی شدید بیشترین تأثیر در کاهش سرعت را دارند. افزایش حجم تردد به شکل غیرخطی منجر به کاهش سرعت شده تا جایی که عبور حجم تردد از ۲۱۰۰ وسیله نقلیه بر ساعت می‌تواند تا حدود ۱۲,۷۲ درصد از سرعت متوسط تردد خودروها بکاهد. همچنین بارندگی نیز به صورت غیرخطی در تمامی سطوح بر تغییر سرعت اثرگذار است. سطوح بارش شدید، متوسط و سبک به ترتیب باعث کاهش سرعت متوسط به میزان ۵,۲۷۱، ۳,۹۷٤ و ۲,۰۸۲ کیلومتر بر ساعت می‌شوند. میزان تأثیر دید افقی در تغییرات سرعت نیز ناچیز بوده که آشنا بودن رانندگان به منطقه می‌تواند مهم‌ترین دلیل آن باشد. با توجه به تأیید اعتبارسنجی مدل، مهم‌ترین کاربرد این مدل پیش‌بینی سرعت در این محور است. به بیان دیگر با استفاده از داده‌های پیش‌بینی هواشناسی و حجم تردد بر مبنای تقاضای سابق و در نهایت پیش‌بینی سرعت با مدل بدست آمده، می‌توان به هدفمندسازی جریان و بهینه‌سازی سطح خدمت با به کارگیری سیستم‌های مدیریت تقاضا پرداخت.

واژه‌های کلیدی: شرایط آب و هوا، بارندگی، سرعت متوسط، حجم تردد، رگرسیون خطی

۱-مقدمه

تغییرات آب و هوایی بر روی تصمیم‌های روزانه و رفتار انسان‌ها تأثیر قابل توجهی می‌گذارد. این تأثیر می‌تواند باعث تغییر نوع وسیله‌نقلیه مورد استفاده، تغییر مقصد و یا حتی لغو سفر شود. شرایط آب و هوایی یکی از عوامل مهم محیطی است که بر روی عملکرد سیستم، ایمنی راه‌ها و نیز کارآیی خودروها تأثیر دارد (Ahmed and Ghasemzadeh,2018). در این زمینه بررسی تأثیر شرایط بارندگی بر روی سرعت متوسط خودروها اهمیت فراوانی دارد. زیرا زمان سفر و سرعت حرکت وسایل نقلیه دو پارامتر ترافیکی هستند که بیشترین تأثیر را از تغییرات آب و هوایی گرفته و بر رضایت افراد نیز اثرگذار

هستند (and Rietveld,2017 Koetse). در شرایط بارندگی، راننده احساس ایمنی کمتر و خطر بیشتر می‌کند. خیس بودن سطح راه باعث کاهش اصطکاک بین روسازی و لاستیک وسایل نقلیه شده و در نتیجه کاهش عملکرد ترمز و افزایش مسافت توقف را در پی دارد. همچنین از پیامدهای بارندگی کاهش دید افقی است (Mashros .et al,2014). با توجه به موارد ذکر شده و تأثیر زیادی که تغییرات آب و هوایی بر روی مسائل حمل‌ونقلی دارند بررسی تغییر رفتار رانندگان و پارامترهای ترافیکی در شرایط آب و هوایی مختلف به خصوص بارندگی اهمیت زیادی برای کارشناسان این حوزه دارد. در همین زمینه راهنمای جامع ظرفیت بزرگراه‌ها نیز اعلام داشته که در شرایط بارندگی سرعت تردد خودروها نسبت به حالت معمول تغییر داشته که این مقدار متناسب با مناطق مختلف متفاوت است و نیاز به تحقیقات بیشتر در مناطق مطالعاتی مختلف دارد (Highway Capacity Manual 2010).

در این زمینه محققان پژوهش‌های مختلفی را در نقاط مختلف جهان انجام داده‌اند. آن‌ها پارامترهایی نظیر جریان ترافیکی، سرعت مجاز خودروها در محور، میزان بارش، دید افقی، وزش باد، درصد وسایل نقلیه سنگین، یخبندان و سطح روسازی را به عنوان عوامل موثر در نظر گرفته اند با بررسی خروجی‌های این پژوهش‌ها مشاهده می‌شود که هرکدام از این پژوهش‌ها به بررسی تعداد محدودی از این پارامترها پرداخته‌اند. از این رو خلأ وجود یک تحقیق جامع که تاثیر تمامی این پارامترها را در کنار یکدیگر بررسی نماید وجود دارد. لذا پژوهش پیش‌رو ۲ هدف را دنبال می‌نماید. نخست، نحوه اثرگذاری بارندگی و دید افقی به عنوان دو متغیر آب و هوایی در کنار سایر متغیرهای اثرگذار بر سرعت وسایل نقلیه بررسی شود. دوم، به عنوان اولین مطالعه در این زمینه با در نظر گرفتن عوامل جامع و متعدد اثرگذار بر سرعت وسایل نقلیه به بررسی خلأ ذکر شده در شهر رشت به عنوان مهم‌ترین شهر از نظر بارندگی در ایران پرداخته می‌شود.

۲- پیشینه تحقیق

رفتار رانندگان در جاده‌ها پیوسته متاثر از عوامل مختلفی است. یکی از این عوامل شرایط محیطی و مورد دیگر شرایط جوی است که پژوهش‌های محققان گویای این امر است. در ادامه به معرفی مواردی از این مطالعات در طول دهه‌های اخیر پرداخته می‌شود.

در اولین مطالعات انجام شده در این زمینه در سال ۱۹۹۸ نشان داده شد که شرایط آب و هوایی مختلف در کنار ویژگی‌های وسایل نقلیه و مشخصه‌های رفتاری راننده بر روی نحوه ارتباط پارامترهای اصلی جریان و یا به بیان دیگر حجم تردد، تراکم و سرعت اثرگذار هستند (Kockelman,1998). مطالعه دیگری که توسط جونز و گولسبی در سال ۱۹۷۰ بر روی شهرهای تگزاس و هیوستون انجام شده بود نشان داد که شرایط بارندگی باعث کاهش ۱۲ تا ۱۹ درصدی ظرفیت آزادراه‌ها به نسبت شرایط آب و هوایی خشک می‌شود. همچنین آن‌ها بیان نمودند که در صورت بارندگی شدید به دلیل جمع‌شدگی آب در معابر و کاهش اصطکاک، سرعت متوسط تردد خودروها کاهش می‌یابد؛ درحالیکه در شرایط بارندگی سبک تغییری در سرعت تردد خودروها مشاهده نمی‌شود (Jones and Goolsby,1970). ابراهیم و هال در سال ۱۹۹٤ در مطالعه بر روی داده‌های هواشناسی، حجم ترافیک عبوری و سرعت وسایل نقلیه بر سه وضعیت آب‌وهوای برفی، بارانی و آفتابی به این نتیجه رسیدند که آب‌وهوای نامساعد بر روی حجم جریان و همچنین سرعت وسایل نقلیه اثرگذار است. در این مطالعه بارش باران در دو سطح سبک و شدید و بارش برف در دو سطح ملایم و شدید مورد مطالعه قرار گرفته است. بارش باران سبک به تنهایی باعث کاهش سرعت به میزان ۲ کیلومتر بر ساعت شده درحالیکه در جریان ۲٤۰۰ وسیله نقلیه در ساعت این کاهش تا ۱۳ کیلومتر بر ساعت نسبت به شرایط بدون بارندگی تغییر خواهد داشت. در رابطه با بارش باران سنگین نیز این میزان کاهش به ۳۸ تا ۵۰ کیلومتر بر ساعت خواهد رسید (Ibrahim and Hall,1994). در مطالعه‌ای موردی، ادواردز در سال ۲۰۰۲ به بررسی تأثیر خیس ماندن سطح روسازی بر کاهش سرعت رانندگان پرداخت. او دو سطح روسازی عادی و متخلخل را در جنوب ولز بررسی نمود. وی دریافت که میزان کاهش سرعت رانندگان در شرایط روسازی متخلخل به دلیل عدم ماندن آب روی سطح روسازی کمتر از کاهش سرعت رانندگان در روسازی عادی است (Edwards,2002). همچنین در مطالعه دیگری در سال ۲۰۰۲ تأثیر بارش برف و باران و سطوح دما بر روی زمان سفر و کاهش سرعت جریان آزاد ارزیابی گردید. متغیر بارش باران در سه سطح سبک، متوسط و شدید و متغیر بارش برف در دو سطح سبک و شدید مورد بررسی قرار گرفته شد. نتیجه این

مطالعه به این صورت شد که سطوح مختلف بارندگی به ترتیب موجب افزایش ۲,۱-۰,۱، ۳,۸-۱,۵ و ۸,۰-٤,۰ درصدی در زمان سفر و به دنبال آن کاهش سرعت جریان آزاد می‌شود. همچنین بارش برف سبک و سنگین به ترتیب باعث افزایش ۷,٦-۵,۵ و ۱۱,٤-۷,٤ درصدی در زمان سفر می‌شود. در نهایت بر اساس این مطالعه دما تاثیر ناچیزی بر سرعت تردد خودروها دارد که قابل توجه نیست (Tsapakis .et al,2013). آکین در سال ۲۰۱۰ در شهر استانبول ترکیه بر روی آزادراه‌های شهری به بررسی اثرات آب و هوا بر مشخصه‌های جریان ترافیکی پرداخت. در پژوهش وی طبقه‌بندی محورها، حداکثر سرعت مجاز محور، وضعیت آب‌وهوا، وضعیت رطوبت سطح جاده و درصد خودروهای سنگین موجود در محور بر سرعت وسایل نقلیه و ارتباط آن با سایر مشخصه های ترافیکی در نظر گرفته شد. در نهایت مشخص گردید که شرایط بارندگی باعث کاهش سرعت تردد خودروها در محدوده ۸ تا ۱۲ درصدی و کاهش ظرفیت مقطع در حدود ۷ درصد خواهد شد. همچنین سطح خیس جاده نیز باعث کاهش ٦ درصدی سرعت می‌شود (Akin .et all,2012). در مطالعه دیگری در سال ۲۰۱۲ توسط رحمان و لونس به بررسی رفتار رانندگان در انتخاب فاصله حرکتی تا خودروی روبرو و سرعت آن‌ها تحت شرایط بارندگی پرداخته می‌شود. بر اساس این مطالعه مشخص گردید که در شرایط بارندگی به نسبت شرایط خشک به دلیل احساس خطر توسط رانندگان، کاهش ۳,۷ درصدی در سرعت خودروها و ۵,٦ درصدی در فاصله زمانی خودروها با وسایل نقلیه مقابل وجود دارد (Rahman and Lownes,2012). بروجردیان و ابراهیمی نیز در سال ۱۳۹۵ در پژوهشی تأثیر شرایط بارندگی و جوی را بر سرعت جریان آزادراه قم-تهران ارزیابی کردند. آن‌ها با ساخت دو مدل رگرسیون درجه ۲ برای روزهای دارای بارندگی و بدون بارندگی با در نظر گرفتن حجم تردد به عنوان متغیر مستقل به بررسی سرعت به عنوان متغیر وابسته و همچنین مقایسه نتایج این دو مدل پرداختند. نتیجه مطالعه آن‌ها مشخص کرد که در شرایط بارندگی به طور کلی سرعت تردد خودروها در محدوده ۳,۷ تا ۹,۹ درصد کاهش می‌یابد (Mirzaborujerdian and Ebrahimi,2016).

در مطالعه دیگری در سال ۲۰۱٦ تأثیر بارندگی برروی نرخ جریان عبوری و همچنین میانگین سرعت عبوری وسایل نقلیه در یک آزادراه در چین بررسی گردید. در این پژوهش با استفاده از مدلسازی رگرسیون خطی ۳ سطح بارندگی کم، معمولی و شدید تعریف شده و بدون در نظر گرفتن متغیر دید افقی مشخص گردید که نرخ جریان به ترتیب ٤,٤، ۷,۳ و ۱۰,٦ درصد و سرعت وسایل نقلیه عبوری نیز ۱۵,۷، ۱۹,۱ و ۳۲,۵ درصد در این شرایط کاهش می‌یابد (Yuan-qing and Jing,2016). احمد و قاسم‌زاده نیز در سال ۲۰۱۷ با انجام تحقیقاتی بر روی اثرات بارندگی شدید بر رفتار رانندگان در تعیین سرعت و سرفاصله زمانی خودروها نشان دادند که در شرایط بارندگی سبک و شدید به احتمال ۲۳ و ۲۹ درصد سرعت خودروها تا ۵ کیلومتر بر ساعت کاهش می‌یابد (Ahmed and Ghasemzadeh,2018).

۳-روش تحقیق

۳-۱-منطقه مطالعاتی

شهر رشت به علت وجود بارش‌های فراوان و تاثیرگذاری زیاد شرایط محیطی بر رفتار رانندگان به عنوان منطقه مطالعاتی این پژوهش در نظر گرفته شده است. شهر رشت دارای محورهای مواصلاتی متفاوتی به شهرهای دیگر بوده که در این بین محور رشت-خمام، واقع شده در شمال شرق رشت به عنوان محور مطالعاتی قرار داده شده است. این محور با طول نزدیک به ۱۲ کیلومتر با دو خط ترافیکی در هر جهت، شامل تمامی دسته‌های ترافیکی مختلف است. شکل ۱ شمای کلی منطقه مورد نظر را نشان می‌دهد.

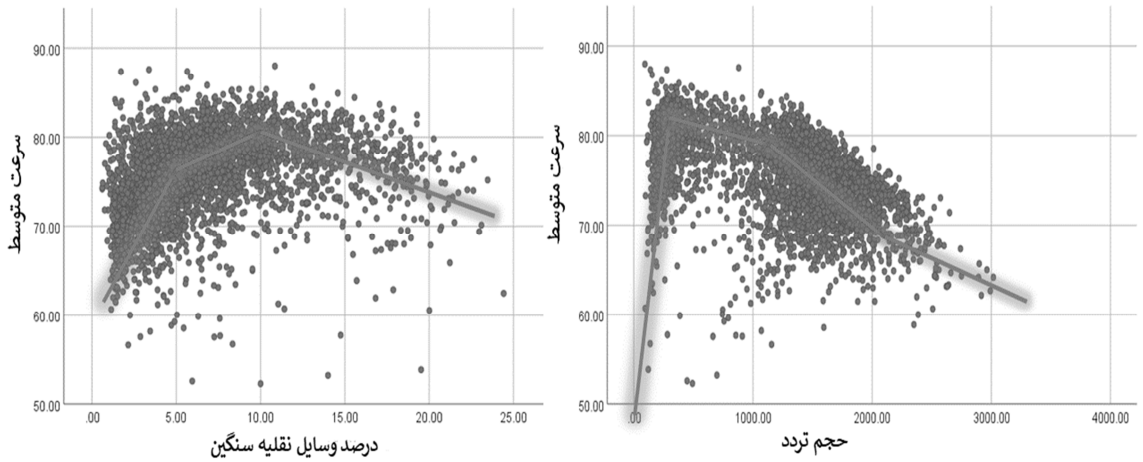
شکل ۱. شمای کلی محدوده مطالعاتی مسئله

۳-۲-متغیرها

با توجه به مطالعات گذشته مشخص گردید عوامل متعددی بر سرعت متوسط حرکت خودروها اثرگذار هستند، که به علت عدم دسترسی به تمامی این موارد، منطقه مطالعاتی به صورت محدود در نظر گرفته شده تا اثر آن‌ها از مدلسازی برداشته شود. به این ترتیب فرض شده است که متغیرهایی از قبیل نوع و جنس روسازی، طرح هندسی، سرعت مجاز محور، شرایط سطح روسازی بی‌تأثیر می‌شوند. در نهایت متغیرهای حجم تردد، درصد وسایل نقلیه سنگین، میزان بارندگی، فاصله دید افقی و روشنایی به عنوان متغیرهای مستقل معرفی می‌شوند. تمامی متغیرها به صورت متغیر ساختگی دو حالتی و در سطوح مختلفی در مسئله وارد می‌شوند. عدم بارندگی، بارندگی سبک شامل کمتر از ۰٫۵ میلی‌متر بر ساعت، بارندگی متوسط شامل ۰٫۵ تا ۱ م.م بر ساعت و بارندگی شدید شامل بیش از ۱ م.م بر ساعت، ٤ سطح متغیر میزان بارندگی هستند. دید افقی خیلی زیاد یا بیش از ۱۰ کیلومتر، دید افقی زیاد بین ۷ تا ۱۰ کیلومتر، دید افقی متوسط از ۳ تا ۷ کیلومتر و دید افقی کم شامل کمتر از ۳ کیلومتر، ٤ سطح متغیر دید افقی هستند. داده‌های مربوط به دید افقی برحسب خروجی دستگاه‌های هواشناسی بوده که با فاصله دید چشم غیر مسلح متفاوت است. متغیر روشنایی نیز به صورت زوج حالتی رانندگی با نور طبیعی و چراغ در نظر گرفته شده است. به این صورت که ساعت ٦ صبح الی ٦ عصر رانندگی با نور طبیعی و از ٦ عصر الی ٦ صبح رانندگی در نور چراغ انجام می‌شود. سطح‌بندی متغیرهای حجم تردد و درصد وسایل نقلیه سنگین مطابق با شکل ۲ که نحوه ارتباط بین داده‌های سرعت با حجم تردد و درصد وسایل نقلیه سنگین را نشان می‌دهد، انجام شده است. متغیر حجم تردد در ٤ سطح و درصد وسایل نقلیه سنگین در ۳ سطح طبقه‌بندی شده‌اند. حجم تردد کمتر از ٤۵۰، بین ٤۵۱ و ۱۰۵۰، بین ۱۰۵۱ و ۲۱۰۰ و بیش از ۲۱۰۰ وسیله نقلیه بر ساعت و درصد وسایل نقلیه سنگین کمتر از ۵، بین ۵ و ۱۰ و بیشتر از ۱۰ درصد طبقه‌بندی‌های ذکر شده برای حجم تردد و وسایل نقلیه سنگین هستند. جدول ۱ بیانگر متغیرها، سطح‌بندی‌های مربوط به هر کدام و نام اختصاری مربوط به آن‌ها است.

۳-۳-جمع‌آوری داده

داده‌های جمع‌آوری شده برای این پژوهش مربوط به ابتدای سال ۱۳۹٦ تا دی‌ماه ۱۳۹۷ است که به صورت تاریخچه‌ای استخراج شده‌اند. داده‌های مربوط به تردد خودروها از پایگاه اینترنتی سازمان راهداری کشور دریافت شده است. به دلیل عدم وجود داده‌های مربوط به برخی از روزها، این موارد به طور کامل از تحلیل حذف گردیده‌اند. داده‌های هواشناسی نیز از پایگاه اینترنتی سازمان هواشناسی کشور دریافت شده که با توجه به عدم وجود داده دقیق‌تر از ٦ ساعت برای بارندگی ایستگاه‌های هواشناسی کشور، داده‌های مربوط به تردد نیز با انجام اصلاحاتی به صورت متوسط ٦ ساعته هم‌افزون گردیده‌اند.



شکل ۲. نمودار پراکندگی سرعت بر حسب حجم تردد و درصد وسایل نقلیه سنگین

جدول ۱. معرفی متغیرهای مدلسازی

نام متغیر	نام اختصاری	توضیحات
حجم تردد		
ح. تردد کمتر از ٤٥٠	F0_4.5	درصورتیکه حجم تردد کمتر از ٤٥٠ باشد ۱ در غیر این صورت ۰
ح. تردد بین ٤٥١ و ١٠٥٠	F4.5_10.5	درصورتیکه حجم تردد بین ٤٥١ و ١٠٥٠ باشد ۱ در غیر این صورت ۰
ح. تردد بین ١٠٥١ و ٢١٠٠	F10.5_21	درصورتیکه حجم تردد بین ١٠٥١ و ٢١٠٠ باشد ۱ در غیر این صورت ۰
ح. تردد بیشتر از ٢١٠٠	F21up	درصورتیکه حجم تردد بیشتر از ٢١٠٠ باشد ۱ در غیر این صورت ۰
درصد وسایل نقلیه سنگین		
د. و. ن. س. کمتر از ٥	Pd5	درصورتیکه درصد وسیله نقلیه سنگین کمتر از ٥ باشد ۱ در غیر این صورت ۰
د. و. ن. س. بین ٥ و ١٠	10_P5	درصورتیکه درصد وسیله نقلیه سنگین بین ٥ و ١٠ باشد ۱ در غیر این صورت ۰
د. و. ن. س. بیشتر از ١٠	Pu10	درصورتیکه درصد وسیله نقلیه سنگین بیشتر از ١٠ باشد ۱ در غیر این صورت ۰
بارندگی		
بدون بارندگی	No_Rain	بازه ٦ ساعته بدون بارندگی باشد ۱ در غیر این صورت ۰
بارندگی سبک	Light_Rain	بازه ٦ ساعته شامل بارندگی تجمعی کمتر از ۳ میلی متر باشد ۱ در غیر این صورت ۰
بارندگی متوسط	Moderate_Rain	بازه ٦ ساعته شامل بارندگی تجمعی بین ۳ و ٦ میلی متر باشد ۱ در غیر این صورت ۰
بارندگی شدید	Heavy_Rain	بازه ٦ ساعته شامل بارندگی تجمعی بیشتر از ٦ میلی متر باشد ۱ در غیر این صورت ۰
دید افقی		
دید افقی خیلی زیاد	Shigh_Visibility	بر اساس اطلاعات هواشناسی دید افقی بیش از ١٠ کیلومتر ۱ در غیر این صورت ۰
دید افقی زیاد	High_Visibility	بر اساس اطلاعات هواشناسی دید افقی بین ۷ تا ١٠ کیلومتر ۱ در غیر این صورت ۰
دید افقی متوسط	Med_Visibility	بر اساس اطلاعات هواشناسی دید افقی بین ۳ تا ۷ کیلومتر ۱ در غیر این صورت ۰
دید افقی کم	Low_Visibility	بر اساس اطلاعات هواشناسی دید افقی زیر ۳ کیلومتر ۱ در غیر این صورت ۰
روشنایی طبیعی		
روشنایی	Night	بازه ٦ ساعته در شب قرار گیرد ۱ در غیر این صورت ۰

۳-٤-مدلسازی

برای بررسی ارتباط بین متغیرهای بیان شده با سرعت متوسط حرکت خودروها به عنوان متغیر وابسته از مدل رگرسیون خطی که یک مدل آماری برای پیش‌بینی یک متغیر از روی یک یا چند متغیر دیگر است استفاده شده که شکل کلی آن مطابق با رابطه (۱) است. مدل بهینه و خروجی رگرسیون خطی مدلی بوده که کمترین مجموع مربعات خطاها را مطابق با رابطه(۲) داشته باشد.

$$Y = \beta_0 + \beta_1 X_1 + \beta_2 X_2 + \cdots + \beta_m X_m \quad (۱)$$

$$\min \sum_{i=1}^{n} e_i{}^2 = \sum_{i=1}^{n} (Y_i - \hat{Y}_i)^2 \quad (۲)$$

پیش از ساخت مدل باید نرمال بودن داده‌ها به کمک تست‌های چولگی، کشیدگی و آزمون کولموگروف برای بیش از ۲۰۰۰ داده یا شاپیرو ویلک برای کمتر از ۲۰۰۰ داده کنترل شود تا بتوان مشخص نمود از آزمون‌های پارامتریک یا غیر پارامتریک برای بررسی و تحلیل داده‌ها استفاده نمود. در ادامه با بررسی هم‌بستگی متغیرها مدل مدنظر ساخته می‌شود.

پس از ساخت مدل در گام اول آزمون‌هایی جهت ارزیابی آن انجام می‌گیرد که آزمون بررسی معناداری ضرایب

مقدماتی‌ترین آن‌ها محسوب می‌شود. برای وارد شدن متغیر مستقل در مدل لازم است معناداری ضرایب به کمک نظریه فرضیه که شامل دو فرضیه H_0 و H_1 بوده که H_0 بیانگر عدم معناداری متغیر و H_1 به معنای معناداری متغیر است، بررسی شود. جهت رد و یا عدم رد نمودن فرضیه H_0 از آزمون T استفاده می‌شود. در صورتیکه $T_{cr} \leq T$ برقرار شود و یا $P-value$ کوچک‌تر از ۰,۰۵ شود نشان‌دهنده رد فرضیه H_0 بوده که در این شرایط متغیر معنادار شده است. آزمون برابری واریانس خطاها و مدل نیز باید بررسی شوند، این آزمون نیز دارای فرضیه H_0 با مفهوم برابری واریانس مدل و خطاها است و در صورتیکه $F_{cr} \leq F$ و یا Sig کوچکتر از ۰,۰۵ شود با رد فرضیه H_0 اثبات می‌شود که واریانس خطاها و مدل نابرابر هستند. در نهایت نیز برای ارزیابی مدل ساخته شده جهت تعیین این مهم که متغیرهای مستقل تا چه میزان تغییرات متغیر وابسته را نشان می‌دهند از ضریب تعیین که با R^2 نمایش می‌دهند، استفاده می‌شود.

پس از تکمیل نهایی روند مدلسازی رگرسیون خطی کنترل برقراری فرض‌های اولیه آن بسیار اهمیت دارد. عدم همبستگی بین متغیرهای مستقل، مستقل بودن باقی‌مانده‌ها از یکدیگر، نرمال بودن توزیع باقی‌مانده‌ها، هم‌واریانسی سطوح مختلف متغیرهای مستقل در برابر متغیر وابسته و عدم خود هم‌بستگی مواردی از این فرض‌ها هستند. علاوه بر موارد قبل، بررسی منحنی باقی‌مانده‌ها بر حسب متغیرهای مستقل و وابسته پیش‌بینی شده و عدم پیروی از الگوی خاص در نمودار آن‌ها مورد دیگری است که باید بررسی شود.

٤-نتایج مدلسازی

بخش نتایج با بررسی توصیفی داده‌ها آغاز می‌شود. مطابق با جدول ۲ و ۳ میانگین سرعت تردد خودروها برابر با ۷٤,۷۷ کیلومتر بر ساعت و بیشینه محدوده سرعت نیز برابر با ۸٤ کیلومتر بر ساعت بدست آمده که با توجه به وضعیت زیرساختی جاده در آن بخش، محدودیت سرعت ۸۵ کیلومتر بر ساعت مسیر و محاسبه سرعت تردد به صورت متوسط ٦ ساعته هم‌فزون منطقی به نظر می‌آید. کمترین و بیشترین حجم تردد ساعتی نیز به ترتیب ۱٦۰ و ۳۰۱۷ وسیله نقلیه بر ساعت است. مطابق با جدول ۳ بیش از ۹۰ درصد مواقع شرایط پایدار ترافیکی با حجم تردد کمتر از ظرفیت در مسیر برقرار است. متوسط درصد وسایل نقلیه سنگین نیز به عنوان یکی از عوامل اثرگذار بر سرعت ٤,٦۹ بدست آمده که مقدار قابل پذیرش و منطقی محسوب می‌شود. لازم به تذکر است حدود ۷ درصد مواقع این مقدار از ۱۰ درصد تجاوز می‌نماید. دلیل این مورد نیز مربوط به داده‌های مربوط به نیمه شب است، زیرا رانندگان خودروهای سنگین به علت محدودیت تردد داخل شهر، در شب به جابجایی بار پرداخته و با توجه به حجم پایین تردد خودرو در این ساعات، درصد وسایل نقلیه سنگین مقدار بالایی بدست می‌آید. مطابق با جدول ۳ تقریبا نیمی از داده‌ها مربوط به روز و نیمی دیگر مربوط به شب است.

بارندگی و دید افقی به عنوان ۲ متغیر آب و هوایی اثرگذار بر سرعت معرفی گردیدند. بر اساس جدول ۲ بیشترین میزان بارندگی ٦ ساعته در این محور بر اساس گزارشات ایستگاه هواشناسی برابر با ۲۸ میلی‌متر بوده که مقدار قابل توجهی محسوب می‌شود. بر اساس اطلاعات ایستگاه‌های هواشناسی برای دید افقی نیز محدوده ۰,۱ تا ۲۰ کیلومتری گزارش شده است. مطابق با جدول ۳ نزدیک به ۷٦,۵ درصد از داده‌ها عدم بارندگی، حدود ۱۷ درصد بارندگی سبک، ۲,۸۲ درصد بارندگی متوسط و ۳,۷ درصد بارندگی شدید را نشان می‌دهند. در رابطه با دید افقی نیز ۱۰,۱۳ درصد داده‌ها دید افقی کم، ۲۰,۹۳ درصد دید افقی متوسط، ۲۹,٤۸ درصد دید افقی زیاد و ۳۹,٤٦ درصد دید افقی خیلی زیاد را شامل می‌شوند.

جدول ۲. آماره توصیفی متغیرها در حالت پیوسته

متغیر	کمترین مقدار	بیشترین مقدار	میانگین	انحراف معیار
سرعت متوسط	۵۸,۵۵	۸٤,۰۰	۷٤,۷۷	۳,۸۹
حجم تردد	۱٦۰	۳۰۱۷	۱٤۰٦,۷۵	٦۷۷,٤۸
درصد وسایل نقلیه سنگین	۰,٦۱	۱۹,۵٦	٤,٦۹	۲,۹۲
میزان بارندگی	۰,۰۰	۲۸,۰۰	۰,۷۰	۲,۵۹
دید افقی	۰,۱۰	۲۰,۰۰	۷,۵۹	۳,۰۵

جدول ۳. آماره توصیفی متغیرها در حالت اسمی

	متغیر	فراوانی	درصد فراوانی
حجم تردد	ح. تردد کمتر از ٤٥٠	٤٠٤	٢٠,٦٨
	ح. تردد بین ٤٥١ و ١٠٥٠	١٤١	٧,٢٢
	ح. تردد بین ١٠٥١ و ٢١٠٠	١٢٤٠	٦٣,٤٦
	ح. تردد بیشتر از ٢١٠٠	١٦٩	٨,٦٥
درصد وسایل نقلیه سنگین	د. و. ن. س. کمتر از ٥	١٣١٣	٦٧,٢٠
	د. و. ن. س. بین ٥ و ١٠	٥٠٧	٢٥,٩٥
	د. و. ن. س. بیشتر از ١٠	١٣٤	٦,٨٦
بارندگی	بدون بارندگی	١٤٩٢	٧٦,٤٣
	بارندگی سبک	٣٣٣	١٧,٠٦
	بارندگی متوسط	٥٥	٢,٨٢
	بارندگی شدید	٧٢	٣,٦٩
دید افقی	دید افقی خیلی زیاد	٧٧١	٣٩,٤٦
	دید افقی زیاد	٥٧٦	٢٩,٤٨
	دید افقی متوسط	٤٠٩	٢٠,٩٣
	دید افقی کم	١٩٨	١٠,١٣
روشنایی	روز	٩٧٨	٥٠,٠٥
	شب	٩٧٦	٤٩,٩٥

با توجه به تبدیل متغیرها از حالت رده‌ای به اسمی و دوحالتی صفر و یکی، در ادامه فرآیند مدلسازی باید از تست‌های غیرپارامتریک برای بررسی بیشتر داده‌ها استفاده کرد. در همین قسمت و در بررسی وجود تفاوت معنادار آماری بین سطوح مختلف متغیرهای حجم تردد، بارندگی و دید افقی از آزمون غیرپارامتریک کروسکال–والیس استفاده می‌شود. جدول ٤ نتیجه انجام این آزمون را نشان داده که بیانگر این بوده که سرعت متوسط تردد در محور در سطوح مختلف حجم تردد، درصد وسایل نقلیه سنگین، بارندگی و همچنین دید افقی تفاوت معناداری با یکدیگر دارند. برای بررسی معناداری این تفاوت برای متغیر روشنایی از آزمون یو من ویتنی استفاده شده است. جدول ٤ نتایج آزمون این قسمت را نیز نشان می‌دهد. با توجه به جدول مشخص است بین میانگین سرعت تردد خودروها در روشنایی روز و شب تفاوت معناداری دیده نمی‌شود. با این حال، با توجه به اهمیت این متغیر، در مدلسازی قرار داده شده تا اثر آن بر سرعت در کنار سایر متغیرها مشخص گردد.

با اثبات معناداری تفاوت سطوح مختلف در نظر گرفته شده برای متغیرهای ذکر شده، مشخص می‌شود که در مجموع ١٦ متغیر در دسترس است که ٤ مورد به عنوان متغیر پایه برای سایر متغیرهای ساختگی در نظر گرفته شده و در نهایت ۱۲ متغیر در مدل وارد می‌شود. قبل از شروع فرایند مدلسازی باید هم‌بستگی بین متغیرها بررسی گردد که در این مورد از ضریب هم‌بستگی اسپیرمن استفاده می‌شود. در نتیجه مشخص شد که متغیر روشنایی با متغیر وابسته هم‌بستگی ندارد. متغیرهای مستقل درصد وسایل نقلیه سنگین و حجم تردد نیز دارای ارتباط قوی هستند. با توجه به تأثیر زیاد این متغیرها در مدل، از مدلسازی کنار گذاشته نمی‌شوند. در آخر نیز می‌توان نتیجه گرفت که مدل پیش رو فاقد هرگونه پدیده چندخطی است. برای مدلسازی از روش Enter و نرم‌افزار SPSS نسخه ۲۵ استفاده شده که نتیجه آن مطابق جدول ۵ است.

جدول ٤. بررسی معناداری تفاوت بین سطوح مختلف متغیرها

متغیر وابسته	متغیر مقایسه	آماره	P-value	تفاوت معنادار
		آزمون کروسکال-والیس		
سرعت	سطوح مختلف حجم تردد	٨٦٤,٦٤٥	۰,۰۰۰	وجود دارد
	سطوح مختلف درصد وسایل نقلیه سنگین	٥٤٧,٣٩١	۰,۰۰۰	وجود دارد
	عدم بارندگی و سطوح مختلف بارندگی	١٧٧,٣٢٩	۰,۰۰۰	وجود دارد
	دید افقی خیلی زیاد، زیاد، متوسط و ضعیف	٢٩٤,٤٨١	۰,۰۰۰	وجود دارد
		آزمون یو من ویتنی		
	روشنایی	-	۰,٦٨٢	وجود ندارد

جدول ٥. مدل رگرسیون خطی نهایی

متغیرها	ضرایب استاندارد نشده		ضرایب استاندارد شده	آماره t	سطح اهمیت معناداری
	مقدار	انحراف معیار	مقدار		
ضریب ثابت	٨٢,٢٦٢	۰,٢٤٦		٣٣٤,۰٧	۰,۰۰۰
ح. تردد بین ٤٥١ و ١٠٥٠*	-١,٢٣٩	۰,٢٥١	-۰,۰٨٢	-٤,٩٣	۰,۰۰۰
ح. تردد بین ١٠٥١ و ٢١٠٠*	-٦,٣١٢	۰,٢۰٦	-۰,٧٨١	-٣۰,٥٧	۰,۰۰۰
ح. تردد بیشتر از ٢١٠٠*	-١۰,٨١١	۰,٢٦٧	-۰,٧٨١	-٤۰,٤٧	۰,۰۰۰
د. و. ن. س. بین ٥ و ١٠*	۰,٤۰٧	۰,١٤٦	۰,۰٤٦	٢,٧٩	۰,۰۰٥
د. و. ن. س. بیشتر از ١٠*	-۰,١٧٥	۰,٢٦٤	-۰,۰١١	-۰,٦٧	۰,٥۰٦
بارندگی سبک*	-٢,۰٨٢	۰,١٣٦	-۰,٢۰١	-١٥,٢٩	۰,۰۰۰
بارندگی متوسط*	-٣,٩٧٤	۰,٣۰٢	-۰,١٦٩	-١٣,١٤	۰,۰۰۰
بارندگی شدید*	-٥,٢٧١	۰,٢٦٩	-۰,٢٥٥	-١٩,٦۰	۰,۰۰۰
دید افقی زیاد*	-۰,٥٨٣	۰,١٢٣	-۰,۰٦٨	-٤,٧٢	۰,۰۰۰
دید افقی متوسط*	-۰,٨٣٨	۰,١٤٣	-۰,۰٨٨	-٥,٨٦	۰,۰۰۰
دید افقی کم*	-۰,٧٦١	۰,١٨٤	-۰,۰٥٩	-٤,١٣	۰,۰۰۰
روشنایی (شب باشد)	-٢,٩٤٩	۰,١٢٢	-۰,٣٧٩	-٢٤,٢٤	۰,۰۰۰

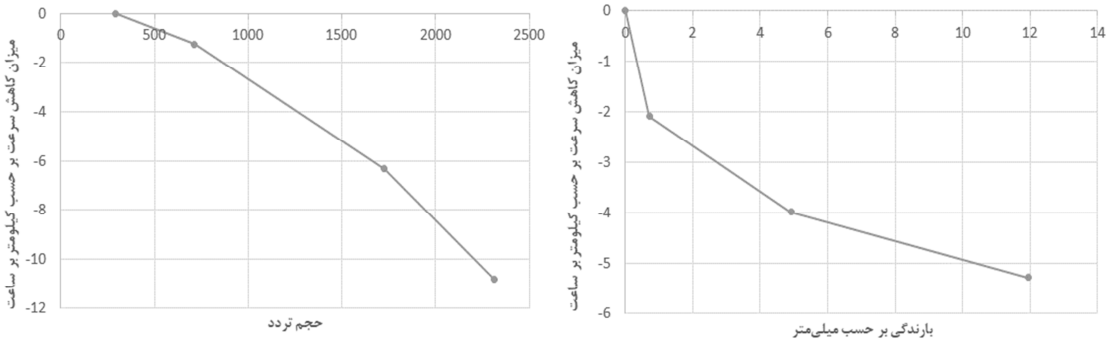
*. برای متغیرهای مربوط به حجم تردد؛ ح. تردد کمتر از ٤٥۰، برای متغیرهای مربوط به درصد وسایل نقلیه سنگین؛ د. و. ن. س. کمتر از ٥، برای متغیرهای مربوط به بارندگی؛ عدم بارندگی و برای متغیرهای مربوط به دید افقی؛ دید افقی زیاد به عنوان مرجع قرار گرفته اند و متغیرهای داخل مدلسازی نسبت به آن‌ها سنجیده می‌شوند.

مدل گزارش شده در جدول ٥ بهترین مدل از نظر متغیرها و سطح‌بندی‌های ممکن است که ضریب خوبی برازش یا R^2 برابر با ۰,٦٩٤ داده است. با توجه به مقادیر بدست آمده در مطالعات گذشته، حذف مواردی از متغیرها به دلیل محدودیت اطلاعات در دسترس و هم‌چنین درگیر بودن رفتار، پندار و دیدگاه‌های افراد در موضوع، مقدار ضریب خوبی برازش بدست آمده قابل قبول است. بر اساس جدول ٥ تمامی متغیرهای ذکر شده غیر از متغیرهای مرجع در مدلسازی وارد شده‌اند. همانطور که مشخص است همه متغیرها غیر از متغیرهای درصد وسایل نقلیه سنگین در سطح اهمیت ۰,۰۰۱ معنادار شده‌اند. متغیر د. و. ن. س. بین ٥ و ١٠ نیز در سطح اهمیت ۰,۰۱ معنادار شده و د. و. ن. س. بیشتر از ١٠ معنادار

نشده است. با توجه به ضرایب بدست آمده ضریب ثابت مقدار ۸۲,۲۶۲ اختیار نموده که مقداری نزدیک به سرعت مجاز محور دارد. از مدل هم‌چنین مشخص است که اثر تمامی متغیرها غیر از د. و. ن. س. بین ۵ و ۱۰ به صورت کاهشی در سرعت متوسط تردد بدست آمده که با واقعیت هم‌خوانی دارد. قرار گرفتن متغیر د. و. ن. س. بین ۵ و ۱۰ با اثر مثبت و افزایشی در مدل منطقی به نظر نمی‌رسد و دلیل آن نیز بر نویسندگان مقاله نامشخص است. زیرا پیش‌فرض اولیه در مدلسازی این بود که با افزایش خودروهای سنگین در جاده با توجه به ماهیت آن‌ها از سرعت خودروها کاسته می‌شود.

متغیر حجم تردد متناسب با مبانی ترافیکی با اثر منفی در مدل بدست آمده است. همانطور که از جدول ۵ مشخص است نسبت به حجم تردد کمتر از ٤٥٠ به عنوان متغیر مرجع، با افزایش حجم تردد در سطوح مختلف کاهش بیشتری در سرعت دیده می‌شود. این کاهش سرعت تا جایی ادامه داشته که اگر حجم تردد به بیش از ۲۱۰۰ وسیله نقلیه بر ساعت برسد، نزدیک به ۱۰,۸ کیلومتر بر ساعت معادل ۱۲,۷۲ درصد از سرعت مجاز خودروها در محور کاسته می‌شود. نتیجه مهم دیگر در مورد متغیر حجم تردد تغییر غیرخطی سرعت در برابر تغییرات حجم است. در این مطالعه با سطح‌بندی نمودن حجم بر اساس رابطه کلی آن با سرعت که در قبل نیز ذکر شد، به بررسی خطی یا غیرخطی بودن این رابطه پرداخته شد. مطابق با شکل ۳ مشخص است که ارتباط بین حجم تردد و سرعت به صورت غیرخطی است. این نحوه تغییر به گونه‌ای بوده که هرچه تردد بیشتر می‌شود میزان کاهش در سرعت نیز افزایش می‌یابد. متغیر روشنایی نیز اگرچه در تحلیل‌های اولیه هم‌بستگی لازم با سرعت را نشان نداد ولی مطابق با جدول ۵ نشان داده می‌شود عدم وجود روشنایی طبیعی روز منجر به کاهش ۳,۵ درصدی سرعت تردد خودروها در محور می‌گردد.

بارندگی نیز در تمامی سطوح طبقه‌بندی شده نسبت به عدم بارندگی بر سرعت اثرگذار است. بارندگی سبک منجر به کاهش سرعت متوسط تا ۲,۱ کیلومتر بر ساعت می‌شود. این مقدار برای شرایط بارندگی متوسط و شدید به ترتیب حدود ٤ و ۵,۳ کیلومتر بر ساعت است. هم‌چنین مطابق با ستون ضرایب استاندارد شده در جدول ۵ که میزان اهمیت متغیرها در تغییرات سرعت را نشان می‌دهد، پس از دو متغیر حجم تردد شامل بیش از ۱۰۵۰ وسیله نقلیه در ساعت و روشنایی، مهم‌ترین متغیر اثرگذار در سرعت متوسط تردد خودروها به ترتیب بارندگی شدید، بارندگی سبک و بارندگی متوسط است که این نتیجه اهمیت بارندگی در این بحث را نمایان می‌کند. مشابه با حجم تردد، نحوه تغییرات سرعت در مقابل بارندگی نیز به صورت غیرخطی است که در شکل ۳ مشخص شده است. متغیر دید افقی نیز مطابق با جدول ۵ در تمامی سطوح با اثر منفی در نتایج مدلسازی گزارش شده است. نتیجه جالب توجه در این بخش تأثیر بیشتر دید افقی متوسط نسبت به دید افقی کم در کاهش سرعت متوسط تردد خودروها است. در نهایت بر اساس نتایج جدول ۵ اهمیت دید افقی تقریبا ناچیز در تغییرات سرعت دیده شده است. دلیل این اتفاق می‌تواند مربوط به منطقه مطالعاتی و آشنایی رانندگان با محل باشد که حتی در شرایط دید افقی ضعیف نیز سرعت خود را به صورت چشمگیری کاهش نمی‌دهند. دلیل دیگر ممکن است مربوط به داده‌های برداشت شده باشد و اینکه باید از داده‌های دقیق‌تری برای دید افقی با منبعی غیر از ایستگاه‌های هواشناسی استفاده نمود. بررسی برقراری فرض‌های رگرسیون خطی از مهم‌ترین اقدامات آماری به حساب می‌آید. پس از بررسی‌های انجام شده مشخص گردید مدل ساخته شده از نظر فروض نرمال بودن باقیمانده‌ها، هم‌واریانسی سطوح مختلف متغیر مستقل در برابر متغیر وابسته، خودهم‌بستگی و عدم وابستگی بین مقادیر باقیمانده و وابسته پیش‌بینی شده شرایط مورد نظر را دارد. جهت اعتبارسنجی مدل ساخته شده از داده‌های ماه‌های خرداد الی آذر سال ۱۳۹۵ استفاده شده است. بر اساس نتایج مشاهده شده مشخص گردید این مدل در ۱۳,٦۵ درصد از موارد، قادر به پیش‌گویی صحیح مقدار سرعت بوده است. از نظر آزمون آماری t نیز نشان داده شد که تفاوت معناداری بین مقادیر پیش‌بینی شده و متوسط مقادیر واقعی وجود ندارد. لذا این مدل در پیش‌بینی کارایی داشته و مدل از این نظر مورد قبول است.



شکل ۳. بررسی رابطه غیر خطی حجم تردد و میزان کاهش در سرعت متوسط تردد خودروها

کاربرد

آزمون اعتبارسنجی مدل ساخته شده نشان داد که این مدل قابلیت پیش‌بینی سرعت در محور مورد نظر را دارد. لذا بر اساس پیش‌بینی شرایط آب‌وهوایی و همچنین عوامل ترافیکی موثر می‌توان سرعت متوسط ساعتی تردد خودروها در محور را بدست آورد. با پیش‌بینی سرعت و در ادامه تراکم می‌توان سطح خدمت در مسیر را بررسی نمود. از این طریق می‌توان پیش‌بینی نمود برای شرایط بحرانی سطح خدمت چه مقدار است و برای بهبود آن از راهکارها و سیاست‌های مدیریت تقاضای حمل‌ونقل استفاده نمود.

به عنوان نمونه در شرایطی که پیش‌بینی می‌شود سطح خدمت به حالت کمینه می‌رسد، با مدیریت در توزیع حجم و تقاضا در مسیرهای مختلف به بهبود این امر در مسیر کمک نماید. از دیگر کاربردهای این مدل در پیش‌بینی زمان سفر در محور متناسب با شرایط آب‌وهوایی است. در حالت معمول افراد متناسب با سرعت مجاز محور از زمان سفر خود آگاهی دارند اما موضوع کنونی این بوده که در شرایط بارانی تا چه میزان زمان سفر آن‌ها افزایش خواهد یافت. بر مبنای مدل ساخته شده می‌توان با پیش‌بینی سرعت متوسط، زمان سفر را محاسبه کرد. این نکته نیز قابل اهمیت است که در راهنمای ظرفیت بزرگراه‌ها ذکر شده که سرعت در شرایط بارندگی نسبت به شرایط معمول کاهش می‌یابد و متناسب با منطقه مقدار این کاهش متفاوت است. از این رو مطابق این مرجع می‌توان از مقادیر پیش‌بینی سرعت برای تعیین سرعت مجاز محور در شرایط آب‌وهوایی مختلف استفاده نمود.

۵-نتیجه‌گیری

زمان سفر و سرعت تردد در جاده‌ها همواره از مهم‌ترین عوامل موثر بر رضایت کاربران مسیر به حساب می‌آیند. از این رو، انجام مطالعاتی در این زمینه از اهمیت بالایی برخوردار است. در این راستا، مطالعه حاضر به بررسی تأثیر متغیرهای اثرگذار شرایط محیطی از قبیل بارندگی، دید افقی و روشنایی در کنار دو متغیر ترافیکی مهم حجم تردد و درصد وسایل نقلیه سنگین بر سرعت متوسط حرکت خودروها پرداخته است. در این مطالعه از روش مدلسازی رگرسیون خطی استفاده گردید. عامل درصد وسایل نقلیه سنگین در ۳ سطح طبقه‌بندی شد که با مرجع در نظر گرفتن د. و. ن. س. کمتر از ۵، مشخص گردید که د. و. ن. س. بالای ۱۰ در مدل معنادار نشده و د. و. ن. س. بین ۵ تا ۱۰ نیز با اثرگذاری مثبت در مدل دیده شد. این نتیجه متفاوت با واقعیت مورد انتظار بوده است. حجم تردد دیگر عامل ترافیکی در نظر گرفته شده است که با رابطه‌ی غیرخطی با سرعت در ارتباط است. سطوح بالای این متغیر بیشترین اهمیت و تأثیرگذاری در مدل را دارند. برای نمونه حجم تردد بین ۱۰۵۰ تا ۲۱۰۰ و بیش از ۲۱۰۰ وسیله نقلیه بر ساعت می‌تواند به ترتیب تا ۱۰٫۸۱ و ٦٫۳۱ کیلومتر بر ساعت معادل ۱۲٫۷ و ۷٫٤ درصد از سرعت متوسط تردد در محور را بکاهد. در بین عوامل محیطی ذکر شده رانندگی در شب تأثیر کاهنده در سرعت خودروها داشته و می‌تواند تا ۳ کیلومتر بر ساعت از متوسط سرعت خودروها را کاهش دهد. بارندگی نیز که در کنار حجم تردد و رانندگی در شب بیشترین نقش در تعیین سرعت را ایفا می‌کند. سطوح مختلف بارندگی به شکل غیرخطی باعث کاهش سرعت خودروها می‌شوند. بارندگی سبک، متوسط و شدید به ترتیب باعث کاهش سرعت متوسط

به میزان ۵,۳، ٤ و ۲,۱ کیلومتر بر ساعت می‌شود. سطوح مختلف متغیر دید افقی با تأثیری ناچیز در تغییرات سرعت دیده شد. دلیل این امر نیز ممکن است مربوط به محلی بودن رانندگان و آشنا بودن آن‌ها به جاده بوده که در اثر تغییرات شرایط جوی و دید افقی، در سرعت حرکت آن‌ها تغییر چشمگیری دیده نمی‌شود. دلیل دیگر ممکن است مربوط به داده‌ها باشد که داده‌های ایستگاه‌های هواشناسی منبع مناسبی برای این متغیر نمی‌باشد. از این رو، پیشنهاد می‌شود برای مطالعات بعدی از داده‌های دقیق‌تری برای این متغیر استفاده گردد.

٦-مراجع

-میرزابروجردیان، ا. و ابراهیمی، م.، (۱۳۹٦)، "بررسی تأثیر شرایط جوی و بارندگی بر سرعت جریان آزاد و ظرفیت تردد در آزاد راه‌ها: (مطالعه موردی آزاد راه تهران – قم)"، فصلنامه مهندسی حمل‌ونقل۸.

-D. Akin, V. P. Sisiopiku, and A. Skabardonis, (2011), "Impacts of Weather on Traffic Flow Characteristics of Urban Freeways in Istanbul," Procedia - Social and Behavioral Sciences, Vol. 16, pp. 89–99.

-Edwards, J. B., (2002), "Motorway speeds in wet weather: the comparative influence of porous and conventional asphalt surfacing", Journal of Transport Geography, 10(4), pp.303-311.

-Jones, E. R. and Goolsby, M. E., (1970) "The environmental influence of rain on freeway capacity", Transportation Research Board, pp.74–82.

-Highway Capacity Manual, (2010).

-Ibrahim, A. T., & Hall, F. L., (1994), "Effect of adverse weather conditions on speed-flow-occupancy relationships", (No. 1457).

-Kockelman, K. M., (1998), "Changes in the flow-density relation due to environmental, vehicle, and driver characteristics", Transportation Research Board, No.1644, pp.47–56.

-M. M. Ahmed and A. Ghasemzadeh, (2018), "The impacts of heavy rain on speed and headway Behaviors: An investigation using the SHRP2 naturalistic driving study data," Transportation Research Part C: Emerging Technologies, vol. 91, pp. 371–384.

-Mashros, N., Ben-Edigbe, J., Hassan, S. A., Hassan, N. A., & Yunus, N. Z. M., (2014), "Impact of rainfall condition on traffic flow and speed: a case study in Johor and Terengganu, Jurnal Teknologi, 70(4).

-Rahman, A., & Lownes, N. E., (2012), "Analysis of rainfall impacts on platooned vehicle spacing and speed", Transportation research part F: traffic psychology and behaviour, 15(4), pp.395-403.

-Tsapakis, I., Cheng, T., & Bolbol, A., (2013), "Impact of weather conditions on macroscopic urban travel times", Journal of Transport Geography, 28, pp.204-211.

-Yuan-qing, W., & Jing, L., (2017), "Study of rainfall impacts on freeway traffic flow characteristics", Transportation research procedia, 25, pp.1533-1543.

-Koetse, M. J., & Rietveld, P., (2007), "Climate change, adverse weather conditions, and transport: A literature survey", In Proceedings of the 9th NECTAR Conference, CDROM, Network on European Communication and Transportation Activities Research (NECTAR), Porto, Portugal.

Investigation of the Impacts of Weather Conditions on the Average Vehicle Speed

Ali Farzaneh Movahed, M.Sc., Grad., Transportation Engineering Group, Department of Civil and Environment Engineering, Amirkabir University of Technology, Tehran, Iran.

Alireza Naseri, M.Sc., Grad., Transportation Engineering Group, Department of Civil and Environment Engineering, Amirkabir University of Technology, Tehran, Iran.

Alireza Aliakbari, M.Sc., Grad., Transportation Engineering Group, Department of Civil and Environment Engineering, Amirkabir University of Technology, Tehran, Iran.

Fereidoon Moghadas Nejad, Professor, Transportation Engineering Group, Department of Civil and Environment Engineering, Amirkabir University of Technology, Tehran, Iran.

E-mail: moghadas@aut.ac.ir

Received: February 2023- Accepted: April 2023

ABSTRACT

Climate variations, especially rainfall, have a high effect on drivers' behavior and their decision. Due to the significant impact of weather conditions on driving as well as human fatalities in road accidents, the importance of investigating driver behavior as a result of climate change is highlighted. This paper examines the variation of hourly average speed in different weather conditions by considering the latter traffic factors influencing the speed. Rasht-Khomam highway is considered as the study area. Rasht, as a coastal city, has the highest rainfall in all the cities of Iran. The linear regression model has been used in this study to examine the variation of hourly average speed, considering traffic factors and weather conditions as independent variables. Essential traffic factors that were included in the modeling are flow rate and percentage of heavy vehicles. Also, variables representing weather conditions include rainfall, horizontal vision, and daylight. The independent variables were transformed into dummy variables to investigate the nonlinear relationship between them and the dependent variable. The results showed that the flow rate of more than 2100 veh/h reduces the speed of the vehicles up to 10.81 km/h, which is 12.72% of the permitted speed on this highway. Another interesting finding of this research was that the amount of rainfall in ordered levels has a nonlinear effect on the speed. Heavy, moderate, and light rains reduce speeds by about 5.3, 4, and 2 km/h, respectively. Daylight was also shown to affect speed. In other words, driving at night can reduce speed up to 3 km/h. Horizontal vision variables were not recognized as significant in the model. This may be due to the drivers being familiar with the area; as a result, this parameter cannot affect their performance.

Keywords: Weather Condition, Rainfall, Speed, Flow Rate, Linear Regression