

# بررسی تاثیر شرایط جوی و بارندگی بر سرعت جریان آزاد و ظرفیت تردد در آزاد راه‌ها: (مطالعه موردی آزاد راه تهران - قم)

امین میرزا بروجردیان (مسئول مکاتبات)، استادیار، دانشکده عمران و محیط زیست، دانشگاه تربیت مدرس، تهران، ایران  
مسعود ابراهیمی، دانشجوی کارشناسی ارشد، دانشکده فنی و مهندسی، دانشگاه علوم و تحقیقات، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد شاهرود،  
شاهرود، ایران

E-mail: boroujerdian@modares.ac.ir

پذیرش: ۱۳۹۵/۰۴/۰۵

دریافت: ۱۳۹۴/۰۳/۱۱

## چکیده

تغییر شرایط پایه رانندگی موجب تغییر در ظرفیت عبوری آزادراه می‌شود که به معنای تغییر عملکرد و کیفیت سطح خدمت‌دهی راه است. عواملی که موجب کاهش ظرفیت می‌شود را می‌توان به دو دسته پایدار و ناپایدار تقسیم‌بندی کرد. در این تحقیق تاثیر عوامل جوی (بارندگی) بعنوان یکی از عوامل ناپایدار مؤثر بر سرعت جریان آزاد و ظرفیت در آزادراه تهران-قم بررسی می‌گردد تا بدین طریق مقدار ضریب کاهش بارش باران در منطقه جغرافیایی ایران که تاکنون مطالعه نشده، تعیین گردد و در صورتی که ساعت طرح سال آزادراهی در ساعت بارندگی قرار داشت، بابه کارگیری ضریب کاهش، ظرفیت طراحی تصحیح گردد. بدین منظور تغییرات سرعت جریان آزاد در دو وضعیت جوی بارندگی و آفتابی مورد بررسی قرار گرفت و با استفاده از تجزیه و تحلیل رگرسیون چند جمله‌ای و اعتبارسنجی داده‌ها از طریق آزمون‌های آماری نتایج مورد ارزیابی قرار گرفتند. داده‌های ترافیکی و بارندگی مورد استفاده مربوط به ۶ ماه انتهایی سال ۱۳۹۱ هستند. نتایج مویب این نکته است که بارندگی باعث کاهش ۳/۵ تا ۸/۹ درصدی ظرفیت و ۸ تا ۱۰ درصدی سرعت جریان آزادراه می‌شود.

واژه‌های کلیدی: سرعت جریان آزاد، بارندگی، ظرفیت، آزادراه.

## ۱. مقدمه

افزایش می‌یابد [Rakha et al. 2007]. بنابراین با توجه به اثر گذاری شرایط جاده بر سرعت جریان آزاد، در صورتی که رانندگان در شرایط بارندگی با سرعتی کمتر از سرعت جریان آزاد حرکت کنند، تاخیر به وجود خواهد آمد و در نهایت باعث می‌شود میزان تقاضای ترافیک نزدیک به مقدار ظرفیت یا بیش از آن شود.

در بیان تاثیر بارندگی بر چگالی باید خاطر نشان کرد که در هنگام بارندگی با کاهش احساس ایمنی، رانندگان فاصله طولی خود با وسیله نقلیه جلویی را افزایش می‌دهند و این موضوع باعث کاهش تعداد وسایل نقلیه در واحد طول می‌شود که به معنای کاهش چگالی است و در این حالت ظرفیت مسیر کاهش می‌یابد. با افزایش جریان عبوری در حالت بارندگی کاهش سرعت شتاب بیشتری به خود گرفته و اختلاف آن با حالت آب‌وهوای آفتابی افزایش می‌یابد و به طبع آن کاهش چگالی جریان نیز بیشتر می‌شود و دیگر نمی‌توان انتظار داشت که ظرفیت عبوری در حالت بارندگی به میزان ظرفیت عبوری در وضعیت آب و هوایی خشک برسد. انتظار می‌رود نمودارهای سرعت-جریان، سرعت-چگالی و چگالی-جریان تحت تاثیر این موضوع بصورت شماتیک مانند شکل (الف تاج) باشد.

اثرات وضعیت جوی و بارندگی بر شرایط جاده و به تبع آن تغییرات در ظرفیت، سرعت جریان آزاد و چگالی راه‌ها تشریح گردید و مشخص شد که می‌بایست تعدیلی در ارزیابی‌های ترافیکی آزادراه‌ها در شرایط حاکم بارندگی جاده انجام شود. دستورالعمل ظرفیت راه‌ها ضریب تعدیل جامعی برای پارامتر بارندگی هوا در نظر نگرفته است و در آن پیشنهاد شده است که به منظور تدقیق محاسبات، ضریب کاهش جریان ترافیکی در مناطق مختلف محاسبه گردد. زیرا میزان اثر بارندگی بر کاهش سرعت جریان و ظرفیت، به سبک رانندگی مرتبط است و رعایت فاصله طولی و عرضی بین وسایل نقلیه و حرکت بین خطوط در هر کشور متفاوت است.

بنابراین ضروری است مطالعه‌ی بررسی وضعیت تردد در شرایط بارندگی در مناطق و راه‌های مختلف انجام شود و نمودار اصلاح شده ظرفیت برای مطالعات ترافیکی برآورد گردد تا بدین ترتیب ضریب کاهش جریان در راه‌ها تعیین شده و در طراحی راه‌هایی که ۳۰ امین ساعت اوج ترافیک آن‌ها در وضعیت بارندگی قرار می‌گیرند، تاثیر داده شود. زیرا در مناطقی که از نظر

ظرفیت و سطح خدمت‌رسانی راه‌ها در تحلیل‌های عملکردی، طراحی و برنامهریزی ترافیکی نقش مهمی را ایفا می‌کنند. ظرفیت وسایل نقلیه، تعداد حداکثر وسایل نقلیه‌ای هستند که از یک مقطع در یک زمان مشخص و تحت شرایط راه، ترافیکی، و کنترلی می‌توانند عبور کنند و سطح خدمت‌رسانی راه کمیته است که کیفیت راه را از دیدگاه کاربران راه مشخص می‌کند. برای ارزیابی عملکردی راه‌ها از پارامترهایی مانند نسبت حجم به ظرفیت، سرعت، چگالی و غیره استفاده می‌شود.

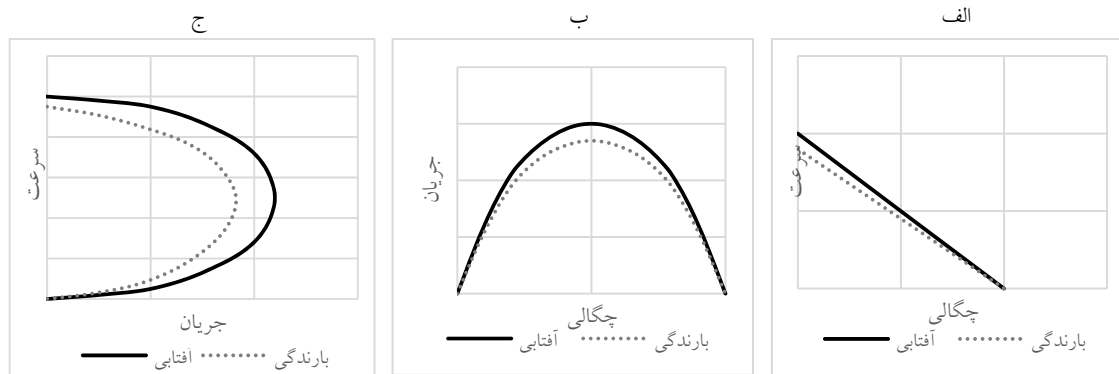
در ارزیابی و تعیین ظرفیت آزادراه‌ها، شرایط پایه‌ای شامل آب‌وهوای خوب، شرایط رویه مناسب و خشک، کاربران آشنا به مسیر و فقدان موانع در جریان ترافیک در نظر گرفته می‌شود. در اغلب موارد شرایط حاکم بر راه متفاوت از شرایط پایه است. بنابراین محاسبات و تحلیل‌های مربوط به تعیین ظرفیت راه باید با اعمال ضرایبی تعدیل گردد. شرایط حاکم بر راه شامل شرایط جاده‌ای، محیطی، ترافیکی و کنترلی است که تغییر در هر یک از این شرایط باعث تغییر ظرفیت راه خواهد شد. بارندگی از عواملی است که شرایط محیطی راه را تحت تاثیر خود قرار می‌دهد و می‌تواند شرایط حاکم بر جاده و در نهایت ظرفیت راه را تغییر دهد. [TRB Executive Committee, 2010]

بارندگی علاوه بر این که ظرفیت راه را تحت تاثیر قرار می‌دهد، بر مقدار سرعت جریان آزاد نیز تاثیرگذار است، به طوری که در زمان بارندگی، احساس ایمنی در راننده کاهش می‌یابد و راننده بطور ناخودآگاه احساس خطر کرده و سرعت خود را کاهش می‌دهد. افزون بر آن با کاهش دید در راننده، این احساس خطر بیشتر خواهد شد. تحقیقات نشان می‌دهد مسافت طی شده پس از ترمز می‌تواند در زمان بارندگی تا ۱۰ برابر بیشتر از زمان معمول آن باشد که این میزان بستگی به میزان بارندگی دارد [Hablas, 2007]. علاوه بر تاثیر احساس ایمنی راننده در کاهش سرعت وسایل نقلیه در زمان بارندگی، سخت‌تر شدن کنترل وسیله‌نقلیه در این شرایط نیز باعث کاهش سرعت می‌شود. در شرایطی مانند وقوع بادهای شدید، جاده یخی و یا جمع شدن آب در جاده که باعث کاهش ضریب اصطکاک بین سطح روسازی راه و لاستیک وسیله‌نقلیه می‌شود، کنترل وسیله‌نقلیه را مشکل می‌کند و اگر راننده در این وضعیت نتواند وسیله نقلیه را کنترل و مهار کند، احتمال بروز سانحه

## بررسی تاثیر شرایط جوی و بارندگی بر سرعت جریان آزاد و ظرفیت تردد در آزاد راه‌ها...

هدف از این تحقیق بررسی تاثیر بارندگی بر تغییر نرخ جریان عبوری و سرعت جریان آزاد در آزادراه‌ها است که به صورت مطالعه موردی آزادراه تهران-قم مورد ارزیابی قرار گرفته است. فرضیه مورد ارزیابی در این پژوهش، کاهش نرخ جریان عبوری و ظرفیت آزادراه‌هایی است که ۳۰امین ساعت اوج ترافیک آن‌ها در وضعیت بارندگی قرار می‌گیرد.

جغرافیایی از بارش قابل توجهی برخوردار هستند، احتمال واقع شدن ساعت طرح ترافیکی (۳۰امین ساعت اوج) در یکی از ساعات روزهای بارندگی وجود دارد و می‌بایست ضریب کاهش نرخ جریان و حجم ترافیک ساعتی برای طراحی آزادراه لحاظ گردد.



شکل ۱. نمودارهای تغییرات سرعت-جریان-چگالی در دو وضعیت آب و هوای آفتابی و بارندگی بصورت شماتیک

## ۲. مرور ادبیات

یکی از پارامترهای محیطی و جوی که در مطالعات ترافیکی تاثیر گذار است، بررسی میزان بارش و وضعیت تردها در آب‌وهوای بارانی است. از اوایل دهه ۵۰ میلادی تأثیر آب و هوا بر رفتار راننده و جریان ترافیک مورد مطالعه قرار گرفته است [Tanner, 1952]. مطالعات متعددی در ارتباط با تأثیر آب‌وهوا بر میزان حجم تردد و ترافیک، ایمنی راه و تصادفات، ظرفیت و سرعت جریان آزاد انجام شده است که در ادامه به برخی از این مطالعات اشاره شده است.

در مطالعه‌ای مشخص شده که آب و هوای نامطلوب در اغلب موارد بر تصمیمات مربوط به انتخاب حالت سفر، مسیر، زمان، مقصد و یا حتی وقوع سفر تأثیر می‌گذارد. بنابراین آب و هوا هم بر عرضه و هم بر تقاضای حمل و نقل تأثیر گذار است [Kockelman, 1998] و در صورتی که وضعیت آب‌وهوایی مقطعی نامساعد باشد، تقاضای ترافیکی و تردها برای مقطع کاهش خواهد یافت. این مطالعه به بررسی مقدار تأثیر آب و هوای نامطلوب بر میزان تغییرات تقاضا و عرضه ترافیکی و در نهایت ظرفیت راه‌ها پرداخته است.

نپ<sup>۱</sup> و همکاران در سال ۲۰۰۰ تأثیر آب و هوا بر حجم ترافیکی و ایمنی را در آزادراه ایالت آیوا طی سال‌های ۱۹۹۵ تا ۱۹۹۸ مورد بررسی قرار دادند که در این بررسی به آنالیز ۶۴ توفان قابل ملاحظه پرداخته شده است. تحلیل‌ها نشان می‌دهد که حجم ترافیک به میزان ۱۶ تا ۴۷ درصد و بطور متوسط ۲۲/۳ درصد کاهش داشته است. در این مطالعه مشخص شده است که حجم ترافیک کاهش یافته ارتباط قابل توجهی با بارش برف و سرعت وزش باد دارد. [Knapp and Smithson, 2000]

این پژوهش تغییرات حجم ترافیک در شرایط جوی توفانی در یک آزادراه را تحلیل کرده است و به بررسی شرایط جوی بارندگی پرداخته است.

در مطالعه‌ای که سال ۲۰۰۹ انجام شده بود، مشخص شد که آب و هوای نامطلوب در کاهش ظرفیت خدمات، کاهش امنیت سفر و قرارگیری در معرض خطر بیشتر تصادفات تأثیر بسزایی دارد بطوری که حدود ۲۸ درصد از همه تصادفات آزادراه‌ها و ۱۹ درصد از تمام مرگ و میر، مرتبط با آب و هوا است [Mamhassani et al. 2009]. بر اساس این مطالعه می‌توان نتیجه گرفت به دلیل کاهش ایمنی و وقوع سوانح و تصادفات در شرایط جوی نامطلوب مانند بارندگی، کاهش سرعت و حتی توقف در زمان بروز حوادث وجود خواهد داشت که نتیجه آن کاهش سطح خدمت‌دهی راه خواهد بود. با این حال این پژوهش تنها به اثر آب‌وهوای نامطلوب در تعداد تصادفات بوجود آمده در آزادراه متمرکز شده و در ارتباط با تأثیر آن بر سرعت و ظرفیت آزادراه تحلیلی صورت نگرفته است.

تحقیقات انجام شده توسط جونز<sup>۲</sup> و گولسبی<sup>۳</sup> نشان می‌دهد که باران سبک تأثیر چندانی بر کاهش سرعت جریان ندارد و سرعت خودروها از خستگی سطح راه تأثیر نمی‌پذیرد تا زمانی که تأثیر آن در رفتار راننده احساس شود و جمع شدگی آب باعث کاهش سرعت شود. در نتیجه در زمان باران سبک، خستگی سطح تأثیری بر جریان ترافیکی ندارد ولی در حالت باران شدید، خستگی سطح راه باعث کاهش ۱۰ تا ۱۵ درصدی ظرفیت راه می‌شود [Jones and Goolsby, 1970]. همچنین در این تحقیق مشخص شده است که بارش برف سنگین نیز مانند باران شدید تأثیر بسیار زیادی در کاهش سرعت جریان

آن باعث نامطلوب شدن سطح خدمت‌رسانی می‌گردد. این مطالعه نیز تاثیر شدت بارش را در نظر گرفته است.

اسمیت<sup>۶</sup> و همکاران در مورد تاثیر مقدار بارش باران در ظرفیت آزادراه و سرعت عملیاتی متغییرهای ترافیکی (حجم و زمان که به معنی سرعت و ظرفیت است) و آب و هوا (مقدار بارش باران) مطالعه کردند. این مطالعه با جمع آوری اطلاعات یکساله از یک قسمت از آزادراه انجام گردیده است و در آن بارش باران به دو حالت سبک و شدید دسته بندی شده است که در این دسته بندی باران سبک به بارش ۰/۲۵ تا ۶/۳۵ میلی‌متر در ساعت و باران شدید به بارش بیش از ۶/۳۵ میلی‌متر در ساعت تلقی می‌گردد. این مطالعه نشان داده است که در باران سبک کاهش سرعت جریان آزاد به میزان ۴ تا ۱۰ درصد و در باران شدید کاهش سرعت جریان آزاد به میزان ۲۵ تا ۳۰ درصد خواهد بود [Smith et al. 2004]. این مطالعه با جامع‌تر کردن سطح تحقیقات خود نسبت به دسته بندی شدت بارندگی به صورت یک بازه کمی نتایج دقیق‌تر و قابل تأمل‌تر از مطالعات پیشین را ارائه داده است اما عوامل جوی دیگری مانند بارش برف، مه و یا باد شدید را مورد بررسی قرار نداده است.

راخا<sup>۶</sup> در تحقیقات خود اظهار داشته است که تمام پارامترها و روابط مربوط به سرعت جریان آزاد و آب و هوا در آزادراهها بستگی زیادی به مدل راه دارد. ظرفیت راه در شرایط نامساعد آب و هوایی می‌تواند به میزان قابل توجهی کاهش یابد. در دستورالعمل ظرفیت راهها<sup>۷</sup> گزارش شده است که در شرایط بارانی ۱۰٪ و در شرایط برفی حدود ۲۰٪ کاهش ظرفیت مشاهده می‌شود. دستورالعمل ظرفیت راهها با استنباط از تمام گزارش‌های مربوط به تأثیر آب و هوا روی سرعت جریان و با تحقیق روی تحلیل رگرسیون اطلاعات آب‌وهوای آفتابی یک معادله درجه دو بدست آورده که بهترین همخوانی را با اطلاعات جریان و ظرفیت دارد، که به تبع آن یک مدل ساده خطی برای سرعت جریان مناسب بدست می‌آید [Rakha et al. 2007].

سیسیوپیکو<sup>۸</sup> در تحقیقات خود در سال ۲۰۱۱ با مطالعه بر روی تأثیر بارندگی بر سرعت جریان آزاد در دو بزرگراه شهری در استانبول و با در نظر گرفتن پارامترهایی از قبیل طبقه بندی جاده‌ها (۶ یا ۸ خطه) و حداکثر سرعت مجاز (۹۰ یا ۱۲۰ کیلومتر بر ساعت) و شرایط آب‌وهوایی (آفتابی، بارانی، برفی)

آزاد دارد به طوری که در زمان بارش برف سنگین این کاهش به میزان ۳۰٪ و در زمان بارش برف ملایم به میزان ۱۰٪ می‌رسد. این تحقیق تغییرات سرعت جریان آزاد و ظرفیت را در زمان بارش باران و برف به طور جداگانه مورد بررسی قرار داده است و مشخص گردید که بارش باران سبک بدلیل عدم تأثیر بر اصطکاک سطح راه نمی‌تواند بر تغییرات سرعت جریان موثر واقع شود و تنها بارش باران زمانی موثر است که باعث کاهش اصطکاک در سطح راه شود.

ابراهیم و هال<sup>۹</sup> در سال ۱۹۹۴ با استفاده از تجزیه و تحلیل داده‌های مربوط به شرایط آب و هوا به این نتیجه رسیدند که بارش باران سبک می‌تواند باعث افت در سرعت جریان آزاد به مقدار حداکثری ۲ کیلومتر بر ساعت شود. در حالی که برای جریان ترافیکی ۲۴۰۰ وسیله نقلیه در ساعت در شرایط بارش باران سبک کاهش سرعت به ۱۳ کیلومتر بر ساعت خواهد رسید. در وضعیت بارش برف ملایم سرعت جریان آزاد به میزان ۳ کیلومتر بر ساعت کاهش می‌یابد که این عدد در حالت اشباع ترافیکی (۲۴۰۰ وسیله نقلیه در ساعت) به مقدار ۸ کیلومتر بر ساعت محاسبه شده است. همچنین سرعت جریان آزاد در وضعیت بارش باران سنگین به میزان ۵ تا ۱۰ کیلومتر بر ساعت و در هنگام بارش برف سنگین به مقدار ۳۸ تا ۵۰ کیلومتر بر ساعت کاهش می‌یابد [Ibrahim and Hall, 1994]. نتایج این مطالعه با دسته‌بندی کیفی بارندگی (باران یا برف) به دو حالت (سبک و سنگین) ارزیابی شده‌اند و به تفکیک می‌توان اثرات بارش باران و برف را در کاهش سرعت جریان آزاد مشاهده نمود. البته تفکیک حالت بارش‌ها به صورت کیفی بوده است و در نظر گرفتن بازه عددی برای طبقه‌بندی بارش سبک و سنگین مطلوب‌تر خواهد بود.

در مطالعه‌ای که سال ۲۰۱۲ به منظور بررسی تاثیر بارش باران بر تغییرات سرعت جریان آزاد انجام شده است، مشخص شد بارش باران سبک می‌تواند از ۰/۱ تا ۲/۱ درصد سرعت جریان آزاد را کاهش دهد و در شرایط باران متوسط و سنگین به ترتیب ۱/۵ تا ۳/۸ و ۴ تا ۶ درصد کاهش در سرعت جریان آزاد رخ می‌دهد [Tsapakis, Cheng and Balbol, 2013]. بنابراین با افزایش میزان و شدت بارش باران، سرعت جریان آزاد کاهش بیشتری خواهد داشت و تاخیر بوجود آمده ناشی از

قم استخراج گردیده است که این داده‌ها دارای اطلاعاتی از قبیل زمان شروع و پایان ثبت تردها، مدت زمان کارکرد تردد شمار، سرعت متوسط و تعداد کل وسایل نقلیه عبوری در بازه‌های زمانی یک ساعته است.

داده‌های بارندگی از اطلاعات ایستگاه سینوپتیک فرودگاه امام خمینی استخراج گردیده است که این داده‌ها حاوی اطلاعات ساعت ثبت بارندگی و میزان بارش به میلیمتر است. ایستگاه سینوپتیک فرودگاه امام خمینی فاصله‌ای نزدیک به ۲۱ کیلومتر از محل نصب سیستم تردد شماری آزادراه تهران-قم دارد.

#### ۴. روش تحقیق

روش تحقیق بکار رفته در این پژوهش به صورت تحلیلی و توصیفی است. مراحل گام به گام انجام این پژوهش شامل تعیین مکان مورد مطالعه، جمع‌آوری داده‌های ترافیکی و بارندگی مربوط به منطقه مورد مطالعه، تحلیل داده‌ها و در نهایت تعیین میزان تغییرات سرعت جریان آزاد و ظرفیت آزادراه در شرایط جوی بارندگی است.

آزادراه تهران-قم به عنوان یکی از راه‌های مهم کشور که اطلاعات ترافیکی و بارندگی آن ثبت شده و در دسترس هستند به عنوان مطالعه موردی انتخاب گردید.

پس از تعیین مکان مورد مطالعه، داده‌های ترافیکی ثبت شده مربوط به تردد شمارهای بر خط آزادراه تهران-قم و آمار بارندگی ایستگاه سینوپتیک فرودگاه امام خمینی که در فاصله ۱۹ کیلومتری دستگاه تردد شمار سازمان راهداری قرار دارد جمع‌آوری گردید. داده‌های ترافیکی مورد استفاده مربوط به شش ماه از سال ۹۱ از تاریخ ۹۱/۷/۱ الی ۹۱/۱۲/۳۰ و مجموعاً شامل ۳۹۴۲ ساعت تردد و وسایل نقلیه و بصورت ساعتی است که با توجه به بازه زمانی مورد مطالعه، داده‌های مربوط به این مدت زمان جامع، قابل دسترس و قابل تحلیل بودند. همچنین اطلاعات آب و هوایی نیز در همین محدوده زمانی و شامل ۶۱۰ داده ثبت شده میزان بارندگی در بازه‌های ۶ ساعته است.

پیش از فرآیند تجزیه و تحلیل، اصلاحاتی روی داده‌های ترافیکی انجام شد. همانطور که در نمودارهای سرعت-چگالی مشخص شده است، در نقطه‌ای اوج نمودار با افزایش نرخ جریان ترافیکی، سرعت جریان شروع به کاهش می‌کند تا جایی که در صورتی که مقدار نرخ جریان به حداکثر ظرفیت مقطع برسد، تردد متوقف شده و وسایل نقلیه ساکن شده و سرعت به

و شرایط سطح راه (خشک یا مرطوب یا یخ زدگی) و در صد وسایل نقلیه سنگین به تجزیه و تحلیل پرداخته است. و در نهایت به این نتیجه می‌رسد که باران باعث کاهش ۸ تا ۱۲ درصدی سرعت جریان آزاد و ۷ تا ۸ درصدی ظرفیت می‌شود [Sisiopiku et al. 2011].

در مطالعات مورد بررسی این بخش که به تحلیل اثرات وضعیت جوی و آب‌وهوایی بر تغییرات حجم ترافیک، سرعت جریان آزاد و ظرفیت راه‌ها پرداخته شده بود، مشخص شد بارش باران و برف به خصوص بارش با شدت سنگین باعث کاهش سرعت جریان آزاد و ظرفیت آزادراه‌ها می‌شود. مقادیر مختلف درصد کاهش سرعت جریان و ظرفیت به منطقه مورد مطالعه وابستگی دارد.

از آنجا که مطالعه‌ای مشابه در زمینه تاثیر بارندگی بر سرعت جریان آزاد و ظرفیت آزادراه‌ها در ایران یافت نشد، و بنابر پیشنهاد دستورالعمل ظرفیت راه‌ها برای تعیین ضریب کاهندگی بارش در هر منطقه، این مطالعه انجام شد تا به صورت موردی مقدار ضریب کاهندگی بارش و تاثیرات آن بر ظرفیت و سرعت جریان آزاد آزادراه‌های کشور بر اساس داده‌های واقعی مورد تحقیق و مطالعه قرار گیرد. بنابراین با تعیین میزان درصد کاهش در ایران و با تعمیم آن می‌توان در طراحی آزادراه‌ها استفاده نمود.

با توجه به این موضوع که مشابه‌ترین برآزش برای مدل سازی منحنی سرعت جریان آزاد-نرخ جریان مدل رگرسیون چند جمله‌ای درجه دو شناخته شده است با استناد به این موضوع در این مطالعه تحلیل رگرسیون درجه دو مبنای تحلیل‌ها قرار گرفت.

#### ۳. داده‌های تحقیق

داده‌های مورد استفاده در این تحقیق به دو دسته داده‌های ترافیکی و داده‌های بارندگی دسته‌بندی می‌شوند. از داده‌های مربوط به بارش در محور مورد نظر برای تعیین ساعتهای که بارندگی وجود داشته و داده‌های ترافیکی در آن ساعات ثبت شده است، استفاده می‌گردد و به این ترتیب داده‌های ترافیکی اعم از سرعت و نرخ جریان ساعات و روزهای آفتابی و بارانی از یکدیگر قابل تفکیک خواهند بود.

داده‌های ترافیکی از بخش تردد شماری بر خط سایت سازمان راهداری و حمل و نقل جاده‌ای کشور مربوط به آزادراه تهران-

درجه دوم از خطا بین برآورد داده‌ها و مقادیر واقعی کمینه گردد (روابط (۲) تا (۴)) [Bates and Watts 1998]. مدل رگرسیون مورد استفاده در این تحقیق از نوع رگرسیون درجه ۲ است (رابطه ۵). در این مدل متغیر X نرخ جریان عبوری با واحد وسیله‌نقلیه بر خط بر ساعت و متغیر Y سرعت جریان آزاد با واحد کیلومتر بر ساعت است.

$$y = a_0 + a_1x + \dots + a_kx^k \quad (1)$$

$$R^2 = \sum_{i=1}^n [y_i - (a_0 + a_1x + \dots + a_kx^k)]^2 \quad (2)$$

$$\frac{\partial(R^2)}{\partial a_k} = -2 \sum_{i=1}^n [y_i - (a_0 + a_1x + \dots + a_kx^k)] x^k = 0 \quad (3)$$

$$a_0 \sum_{i=1}^n x_i^k + a_1 \sum_{i=1}^n x_i^{k+1} + \dots + a_k \sum_{i=1}^n x_i^{2k} = \sum_{i=1}^n x_i^k y_i \quad (4)$$

$$y = ax^2 + bx + c \quad (5)$$

با تعیین مدل رگرسیون درجه دو برای داده‌های ثبت شده به تفکیک در روزهای بارانی و آفتابی، نمودار سرعت جریان آزاد- نرخ جریان مربوط به این آزادراه رسم شده و در نهایت با نمودارهای مربوطه که در دستورالعمل ظرفیت راه‌ها ارایه شده است مقایسه گردید.

به منظور اعتبار سنجی داده‌ها و مقایسه سرعت جریان آزاد در روزهای بارانی و روزهای غیر بارانی از آزمون‌های آماری استفاده شده است.

برای تعیین نرمال بودن داده‌های سرعت ثبت شده از روش‌های عددی شامل بررسی اعداد کشیدگی<sup>۱۰</sup> و چولگی<sup>۱۱</sup>، مقایسه مقادیر میانگین و میان‌ه‌ها و همچنین از آزمون آماری کلموگروف-اسمیرنوف<sup>۱۲</sup> استفاده شده است. ضریب کشیدگی و چولگی دو شاخص اساسی توزیع داده‌ها هستند. در حالت کلی چنانچه مقادیر این ضرایب در بازه (۲ و -۲) قرار گیرند، داده‌ها از توزیع نرمال برخوردارند. همچنین اگر مقادیر میانگین، مد و میانه داده‌ها تقریباً یکسان باشند، می‌توان انتظار داشت که داده‌ها به صورت متقارن حول مرکز پراکنده شده‌اند و توزیعی نرمال دارند.

به منظور تعیین دقیق‌تر توزیع داده‌ها از آزمون کلموگروف-اسمیرنوف استفاده می‌شود. فرضیه صفر در این آزمون نرمال

صفر می‌رسد. به عبارتی در محدوده بازگشت نمودار وضعیت تراکم رخ می‌دهد. پس از بررسی روی داده‌های تردد ثبت شده، مشخص گردید در بازه‌های زمانی یک ساعته که سرعت میانگین وسایل نقلیه عبوری در آن از ۷۰ کیلومتر بر ساعت کمتر است، مقطع آزادراه در شرایطی قرار می‌گیرد که با افزایش نرخ جریان، سرعت کاهش می‌یابد. بنابراین بازه‌هایی که سرعت متوسط عبوری آن‌ها کمتر از ۷۰ کیلومتر بر ساعت ثبت شده بودند، از میان داده‌ها حذف شدند. بدین ترتیب سرعت‌های متوسط عبوری در هر بازه مربوط به شرایط پایه جریان آزاد خواهد بود.

در بررسی ترددهای ثبت شده، مشخص گردید در برخی از بازه‌های یک ساعته، مدت زمان کارکرد تردد شمار کمتر از یک ساعت (۶۰ دقیقه) است و به علت نقص یا بوجود آمدن مشکلات دیگری ترددها به طور کامل در بازه ۶۰ دقیقه‌ای ثبت نشده‌اند. بدین منظور برای کاستن خطای بوجود آمده، تعداد کل وسایل نقلیه ثبت شده در بازه‌های ۶۰ دقیقه‌ای که در کمتر از این مدت زمان ثبت شده‌اند با میانگین‌گیری تعمیم داده شدند. همچنین با توجه به سه خطه بودن آزادراه تهران-قم مقادیر ترددهای ساعتی به تعداد خط تقسیم شدند و نرخ جریان عبوری با واحد وسیله‌نقلیه بر خط بر ساعت حاصل گردد.

پس از آن بر اساس داده‌های مربوط به آمار بارندگی، داده‌های ترافیکی اصلاح شده روزهای بارانی و غیربارانی از یکدیگر تفکیک شدند. روزهایی با بارندگی کمتر از ۰/۱ میلی‌متر در روز به علت تاثیر ناچیز بر مشخصات ترافیکی عبوری و سرعت جریان به عنوان روزهای غیر بارانی فرض شده‌اند.

به منظور بررسی و تجزیه و تحلیل داده‌های ترافیکی و تعیین اثرات بارندگی بر ظرفیت و سرعت جریان آزاد و همچنین مقایسه داده‌ها در روزهای بارانی و غیربارانی از روش‌ها و آزمون‌های آماری با استفاده از نرم‌افزار مینی‌تبا<sup>۹</sup> استفاده شده است.

برای تعیین رابطه بین سرعت جریان آزاد و نرخ جریان از مدل رگرسیون چند جمله‌ای استفاده شده است. معادله رگرسیون چندجمله‌ای درجه k مطابق با رابطه (۱) است. Xها در این مدل نشان‌دهنده داده‌های مورد نظر برای تجزیه و تحلیل است. برای برآورد ضرایب معادله (ai) از رویکرد حداقل مربعات خطا استفاده شده است. در این روش تلاش می‌شود که تابع

در این بخش از مطالعه ابتدا نتایج آزمون‌های آماری که برای اعتبارسنجی داده‌های مورد استفاده به کار برده شده است، ارایه شده و پس از آن مدل رگرسیون درجه دو مربوط به سرعت جریان آزاد مشخص و منحنی‌های مربوطه برای دو حالت روزهای با بارندگی و بدون بارندگی تحلیل می‌گردند.

نتایج مربوط به بررسی شاخص‌های مورد ارزیابی برای تعیین توزیع داده‌های سرعت در هر دو وضعیت بارانی و غیربارانی (آفتابی) در جدول ۱ ارایه شده است. مقادیر کشیدگی و چولگی هر دو گروه داده‌های سرعت در بازه (۲ و -۲) قرار دارد. همچنین مقادیر میانگین و میانه در هر دو گروه داده سرعت تقریباً یکسان است و نشان‌دهنده توزیع متقارن داده‌ها است.

همانطور که در جدول ۱ مشاهده می‌شود، مقادیر P-Value آزمون کلموگروف-اسمیرنوف در هر دو گروه داده‌های سرعت در آب‌وهوای بارانی و غیر بارانی از مقدار سطح معناداری  $\alpha=0/05$  بزرگ‌تر است و به معنای پذیرفته شدن فرضیه صفر است و با اطمینان ۹۵٪ می‌توان نتیجه گرفت که میان فراوانی‌های مشاهده شده و مورد انتظار تفاوتی وجود ندارد و به عبارت دیگر توزیع داده‌های سرعت نرمال است. با نرمال بودن توزیع داده‌های تصادفی، میانگین توزیع همان میانگین جامعه است و تعمیم نتایج از این داده‌ها به جامعه صحیح است.

همان‌طور که در نمودارهای Q-Q رسم شده برای داده‌های سرعت در هر دو گروه (شکل و شکل) مشاهده می‌شود، نقاط که نماینده داده‌ها هستند به خط معیار نرمال نزدیک هستند و بیان‌گر توزیع نرمال داده است.

بودن داده‌های مورد بررسی و فرضیه جایگزین نرمال نبودن داده‌ها است. در صورتی که مقادیر P-Value از مقدار سطح معناداری  $\alpha=0/05$  بزرگ‌تر باشد، فرضیه صفر پذیرفته شده و داده‌ها از توزیع نرمال برخوردارند [Miller et al. 1985].

برای بررسی معناداری تفاوت سرعت میانگین داده‌ها در روزهای بارانی و آفتابی و با توجه به نرمال بودن توزیع داده‌ها (پیش فرض استفاده از آزمون تی) از آزمون آماری تی<sup>۱۳</sup> استفاده شده است. فرضیه صفر در نظر گرفته شده برای این آزمون عدم اختلاف میانگین سرعت خودروها در روزهای بارانی با میانگین سرعت خودروها در روزهای غیر بارانی است. و فرضیه جایگزین در نظر گرفته شده وجود اختلاف میان این مقادیر سرعت‌ها است. در صورتی که مقادیر P-Value از مقدار سطح معناداری  $\alpha=0/05$  بزرگ‌تر باشد، فرضیه صفر پذیرفته خواهد شد که به معنای عدم اختلاف میان میانگین سرعت خودروها در روزهای بارانی و غیر بارانی است

با توجه به این که مقدار آماره و درجه آزادی آزمون تی به برابری یا نابرابری واریانس‌های متغیر مورد مطالعه در دو گروه بستگی دارد، لازم است برابری واریانس‌ها نیز به موازات آزمون تی صورت پذیرد. با توجه به دسترس نبودن واریانس جامعه، از واریانس نمونه و از آزمون‌های F و لون<sup>۱۴</sup> استفاده شده است. فرضیه صفر در نظر گرفته شده در این آزمون‌ها برابری واریانس داده‌های سرعت در روزهای بارانی و غیر بارانی است و فرضیه جایگزین عدم یکسان بودن واریانس این دو گروه داده است. در صورتی که مقادیر P-Value از مقدار سطح معناداری  $\alpha=0/05$  بزرگ‌تر باشد، فرضیه صفر پذیرفته شده و واریانس داده‌های سرعت در روزهای بارانی با واریانس داده‌های سرعت در روزهای غیربارانی برابر است.

## ۵. نتایج مدل سازی

جدول ۱. نتایج آزمون‌های بررسی نرمال بودن توزیع داده‌های سرعت در روزهای بارانی و غیر بارانی

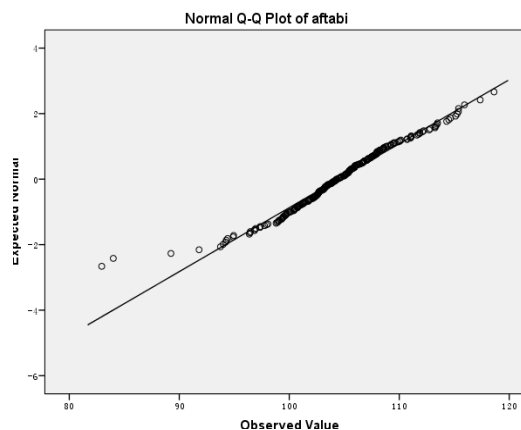
عنوان	چولگی	کشیدگی	میانگین	میانه	آماره آزمون	P-Value
سرعت وسایل نقلیه در آب‌وهوای بارانی	-۰/۳۳۱	-۰/۰۹۹	۱۰۱/۰۹۴	۱۰۱/۶۵۴	۰/۰۳۸	۰/۲
سرعت وسایل نقلیه در آب‌وهوای غیر بارانی	-۰/۳۸۴	۱/۹۱۱	۱۰۴/۴۵۵	۱۰۴/۳۳۷۷	۰/۰۵۱	۰/۲



## بررسی تاثیر شرایط جوی و بارندگی بر سرعت جریان آزاد و ظرفیت تردد در آزاد راهها...

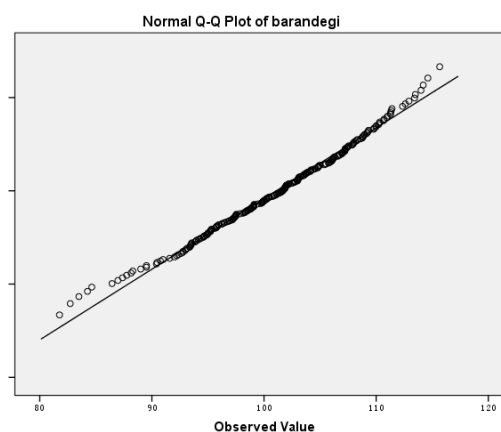
Value برابر صفر است و از مقدار سطح معناداری  $\alpha=0/05$  کوچکتر است. بنابراین فرضیه جایگزین پذیرفته می شود و به معنای عدم برابری واریانس های سرعت خودروها در روزهای بارانی و غیربارانی است و اختلاف معنی داری در مقدار واریانس سرعت خودروها در روزهای بارانی و غیر بارانی وجود دارد و مقادیر انحراف معیار استاندارد سرعت در روزهای بارانی و غیربارانی به ترتیب ۹/۴۶ و ۶/۰۸ است.

با در نظر گرفتن پیروی از توزیع نرمال و نابرابری واریانس های دو گروه داده سرعت در روزهای بارانی و غیربارانی، آزمون تی برای بررسی معناداری تفاوت سرعت میانگین داده ها در روزهای بارانی و آفتابی استفاده شد. نتایج خروجی مربوط به این آزمون در جدول ارائه شده است. همانطور که نتایج آزمون تی نشان می دهد مقدار P-Value برابر صفر است و از مقدار سطح معناداری  $\alpha=0/05$  کوچکتر است. بنابراین فرضیه صفر رد و فرضیه جایگزین پذیرفته می شود و می توان نتیجه گرفت که با احتمال ۹۵٪ بین میانگین سرعت خودروها در روزهای بارانی و میانگین سرعت خودروها در روزهای غیر بارانی از نظر آماری تفاوت معناداری وجود دارد و موید تاثیر بارندگی در تغییرات سرعت خودروها است. میانگین سرعت خودروها در آب و هوای بارانی و غیر بارانی به ترتیب ۱۰۱/۰۹ و ۱۰۴/۴۵ کیلومتر بر ساعت است و مقدار میانگین سرعت خودروها در روزهای غیربارانی بیش از روزهای بارانی است و این نتایج مطابق با نتایج تحقیقات گذشته است.



شکل ۲. نمودار Q-Q مربوط به داده های سرعت در روزهای

آفتابی



شکل ۳. نمودار Q-Q مربوط به داده های سرعت در روزهای

بارانی

نتایج آزمون های F و لون به منظور بررسی برابر واریانس های سرعت در روزهای بارانی و غیربارانی در جدول ۲ ارائه شده است. همانطور که نتایج هر دو آزمون نشان می دهد مقدار P-

جدول ۲. نتایج آزمون های بررسی برابری واریانس داده های سرعت در روزهای بارانی و غیر بارانی

عنوان	انحراف معیار استاندارد	حد بالا و پایین انحراف استاندارد	آماره F	آماره Levene	P-Value برای هر دو آزمون
سرعت وسایل نقلیه در آب و هوای بارانی	۹/۴۶۱۱	(۸/۱۰-۷۴۸۲۲/۲۹۵۴)	۲/۴۲	۴۹/۳۷	۰
سرعت وسایل نقلیه در آب و هوای غیر بارانی	۶/۰۷۶۵۱	(۵/۶-۹۱۹۱۵/۲۴۲۲)			

جدول ۳. نتایج آزمون t برای بررسی میانگین داده‌های سرعت در روزهای بارانی و غیر بارانی

عنوان	میانگین داده‌ها	انحراف معیار استاندارد	فاصله اطمینان ۹۵٪	P-Value	آماره T
سرعت وسایل نقلیه در آب‌وهوای بارانی	۱۰۱/۰۹	۹/۴۶	(-۴/۴۷۴ تا -۲/۵۲۷)	۰	-۷/۰۷
سرعت وسایل نقلیه در آب‌وهوای غیر بارانی	۱۰۴/۴۵	۶/۰۸			

حذف گردیده است. سپس با مرتب کردن اطلاعات براساس نرخ جریان (از کم به سمت نرخ جریان بیشتر) و تشکیل محدوده‌های نرخ جریان بصورت جدول ۵ اقدام به میانگین گیری از سرعت جریان و نرخ جریان گردید و سرعت جریان میانگین متناظر با هر محدوده نرخ جریان مطابق جدول ۵ است.

مدل رگرسیون برآورد شده برای متغیر میانگین سرعت جریان آزاد و متوسط نرخ جریان ترافیکی (X و Y) و ضریب رگرسیون متناظر با شرایط جوی بارندگی مطابق با رابطه (۸) و (۹) است.

$$y = -0.00001x^2 + 0.0121x + 99.78 \quad (8)$$

$$R^2 = 0.9449 \quad (9)$$

مدل رگرسیون برآورد شده برای متغیر سرعت جریان آزاد و نرخ جریان ترافیکی (X و Y) و ضریب رگرسیون متناظر با شرایط جوی بارندگی مطابق با رابطه (۶) و (۷) است.

$$y = -0.00001x^2 + 0.0102x + 99.73 \quad (6)$$

$$R^2 = 0.0387 \quad (7)$$

معنی داری ضرایب مدل برآورد شده بوسیله نرم افزار STATA بررسی گردید و خروجی آن بصورت جدول ۴ آمده است.

همانطور که در جدول ۴ مشاهده می شود با توجه به اینکه P-Value ضرایب معادله کمتر از ۰/۰۵ است، ضرایب معادله در سطح اطمینان ۹۵٪ معنی دار هستند.

پالایش اطلاعات مطابق آنچه که در روش تحقیق بیان شد انجام گرفته و داده‌های با سرعت کمتر از ۷۰ کیلومتر بر ساعت

جدول ۴. اطلاعات مربوط به معناداری ضرایب مدل رابطه (۶)

Source	SS	df	MS	Number of obs =	257
Model	446.63034	2	223.31517	F( 2, 254) =	5.11
Residual	11095.9561	254	43.6848665	Prob > F =	0.0067
Total	11542.5864	256	45.0882283	R-squared =	0.0387
				Adj R-squared =	0.0311
				Root MSE =	6.6095

Y	Coef.	Std. Err.	t	P> t	[95% Conf. Interval]
X	.0102153	.0050168	2.04	0.043	.0003355 .0200951
X2	-.000011	4.22e-06	-2.62	0.009	-.0000194 -2.74e-06
_cons	99.73129	1.242883	80.24	0.000	97.28362 102.179

بررسی تاثیر شرایط جوی و بارندگی بر سرعت جریان آزاد و ظرفیت تردد در آزاد راهها...

جدول ۵. متوسط سرعت جریان آزاد و نرخ جریان در شرایط جوی بارندگی

محدوده نرخ جریان	میانگین نرخ جریان (X)	میانگین سرعت جریان (Y)
۲۰۰ - ۰	۱۲۱	۱۰۲/۲۷
۴۰۰ - ۲۰۰	۲۸۸	۱۰۰/۷۸
۶۰۰ - ۴۰۰	۴۸۷	۱۰۱/۷۳
۸۰۰ - ۶۰۰	۶۹۹	۱۰۱/۶۷
۱۰۰۰ - ۸۰۰	۸۹۴	۱۰۰/۰۱
۱۲۰۰ - ۱۰۰۰	۱۰۷۹	۹۸/۱۳
۱۴۰۰ - ۱۲۰۰	۱۳۶۱	۹۰/۲۴

جدول ۶. اطلاعات مربوط به معناداری ضرایب مدل رابطه (۸)

Source	SS	df	MS	Number of obs = 7		
Model	100.643941	2	50.3219706	F( 2, 4) =	34.30	
Residual	5.8687834	4	1.46719585	Prob > F =	0.0030	
Total	106.512725	6	17.7521208	R-squared =	0.9449	
				Adj R-squared =	0.9174	
				Root MSE =	1.2113	

Y	Coef.	Std. Err.	t	P> t	[95% Conf. Interval]	
X	.0120837	.0046107	2.62	0.059	-.0007177	.0248852
X2	-.0000136	3.06e-06	-4.45	0.011	-.0000221	-5.13e-06
_cons	99.78047	1.445541	69.03	0.000	95.767	103.7939

معنی داری ضرایب مدل برآورد شده بوسیله نرم افزار STATA بررسی گردید و خروجی آن بصورت جدول ۷ آمده است.

معنی داری ضرایب مدل برآورد شده بوسیله نرم افزار STATA بررسی گردید و خروجی آن بصورت جدول ۶ آمده است.

$$y = -0.00001x^2 + 0.0136x + 102.0 \quad (10)$$

$$R^2 = 0.1235 \quad (11)$$

جدول ۷. اطلاعات مربوط به معناداری ضرایب مدل رابطه (۱۰)

Source	SS	df	MS	Number of obs = 3536		
Model	12147.5718	2	6073.78591	F( 2, 3533) =	248.95	
Residual	86198.2536	3533	24.3980339	Prob > F =	0.0000	
Total	98345.8254	3535	27.8206012	R-squared =	0.1235	
				Adj R-squared =	0.1230	
				Root MSE =	4.9394	

Y	Coef.	Std. Err.	t	P> t	[95% Conf. Interval]	
X	.0135526	.0009899	13.69	0.000	.0116117	.0154935
X2	-.0000133	7.38e-07	-18.03	0.000	-.0000147	-.0000119
_cons	101.9998	.2943693	346.50	0.000	101.4227	102.577

مدل رگرسیون برآورد شده برای متغیر میانگین سرعت جریان آزاد و متوسط نرخ جریان ترافیکی (X و Y) و ضریب رگرسیون متناظر با شرایط جوی بارندگی مطابق با رابطه (۱۲) و (۱۳) است.

$$y = -0.00001x^2 + 0.0106x + 102.89 \quad (12)$$

$$R^2 = 0.9888 \quad (13)$$

معنی داری ضرایب مدل برآورد شده بوسیله نرم افزار STATA بررسی گردید و خروجی آن بصورت جدول ۹ آمده است.

همانطور که در جدول ۷ مشاهده می شود با توجه به اینکه P-Value ضرایب معادله کمتر از ۰/۰۵ است، ضرایب معادله در سطح اطمینان ۹۵٪ معنی دار می باشند. پالایش اطلاعات مطابق آنچه که در روش تحقیق بیان شد انجام گرفته و داده های با سرعت کمتر از ۷۰ کیلومتر بر ساعت حذف گردیده است. سپس با مرتب کردن اطلاعات براساس نرخ جریان (از کم به سمت نرخ جریان بیشتر) و تشکیل محدوده های نرخ جریان بصورت جدول ۸ اقدام به میانگین گیری از سرعت جریان و نرخ جریان گردید و سرعت جریان میانگین متناظر با هر محدوده نرخ جریان مطابق جدول ۸ می باشد.

جدول ۸. متوسط سرعت جریان آزاد و نرخ جریان در شرایط جوی بدون بارندگی

میانگین سرعت جریان (Y)	میانگین محدوده (X)	محدوده نرخ جریان
۱۰۴/۶۹	۱۴۸	۲۰۰ - ۰
۱۰۴/۳۷	۵۸۷	۴۰۰ - ۲۰۰
۱۰۴/۹۱	۴۹۶	۶۰۰ - ۴۰۰
۱۰۵/۴۶	۷۰۲	۸۰۰ - ۶۰۰
۱۰۲/۱۲	۹۷۷	۱۰۰۰ - ۸۰۰
۹۹/۹۶	۱۰۷۹	۱۲۰۰ - ۱۰۰۰
۹۷/۸۶	۱۲۷۲	۱۴۰۰ - ۱۲۰۰
۹۴/۰۱	۱۴۷۶	۱۶۰۰ - ۱۴۰۰
۸۸/۲۸	۱۶۵۰	۱۸۰۰ - ۱۶۰۰
۸۰/۲۷	۱۸۲۹	۲۰۰۰ - ۱۸۰۰

جدول ۹. اطلاعات مربوط به معناداری ضرایب مدل رابطه (۱۲)

Source	SS	df	MS	Number of obs =	9
Model	273.720337	2	136.860169	F( 2, 6) =	265.33
Residual	3.09489972	6	.515816621	Prob > F =	0.0000
Total	276.815237	8	34.6019046	R-squared =	0.9888
				Adj R-squared =	0.9851
				Root MSE =	.7182

Y	Coef.	Std. Err.	t	P> t	[95% Conf. Interval]
X	.0105608	.0020984	5.03	0.002	.0054262 .0156953
X2	-.0000116	1.15e-06	-10.07	0.000	-.0000144 -8.77e-06
_cons	102.8934	.7959128	129.28	0.000	100.9459 104.8409

## بررسی تاثیر شرایط جوی و بارندگی بر سرعت جریان آزاد و ظرفیت تردد در آزاد راهها...

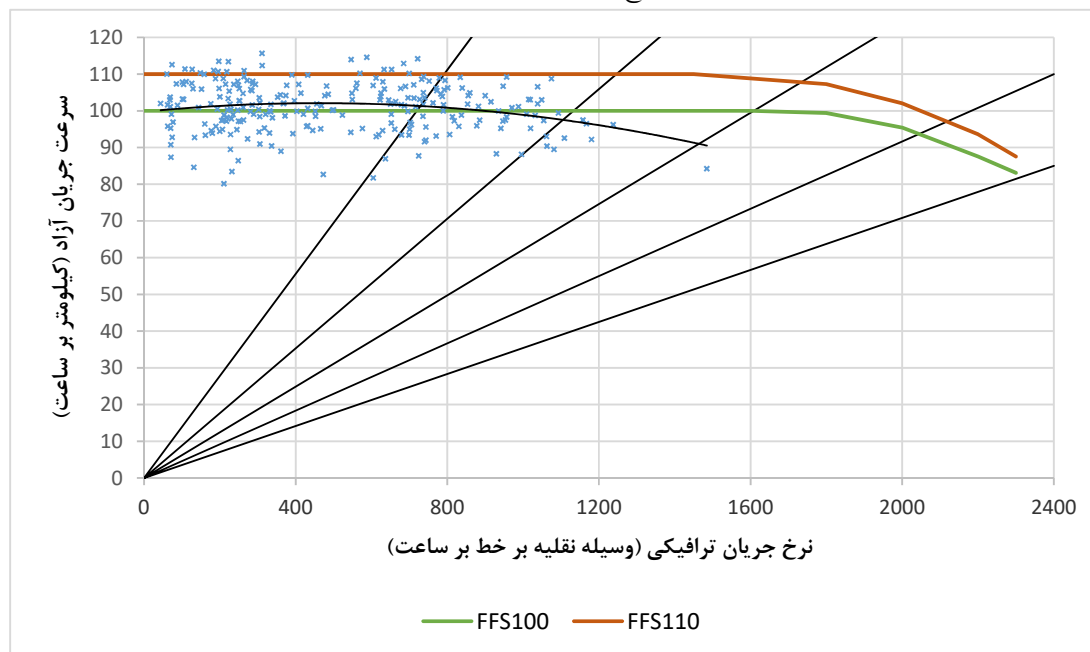
سرویس‌دهی است. به طوری که در صورت شرایط جوی بارندگی، ظرفیت و سرعت جریان آزاد مقطع یکسان کاهش می‌یابد و می‌بایست ضرایب آن تعیین و در طراحی آزادراهها مورد استفاده قرار گیرد.

با توجه به این که منحنی‌های مربوط به روزهای آفتابی و بارانی به ترتیب از مقدار سرعت جریان آزاد ۱۰۵ و ۱۰۲ کیلومتر بر ساعت شروع شده‌اند، منحنی‌های پیشنهادی دستورالعمل ایمنی راه‌ها مربوط به سرعت‌های ۱۰۰ و ۱۱۰ کیلومتر بر ساعت که محدوده بالا و پایین مقادیر سرعت منحنی‌های روزهای بارانی و آفتابی را پوشش می‌دهد در این نمودار رسم شده‌اند. انتظار می‌رود که منحنی‌های برازش شده از این دو منحنی پیروی کند. اما همان‌طور که مشاهده می‌شود از محدوده سطح سرویس ۳ به بعد از منحنی‌ها پیروی نمی‌کند. علت یابی این موضوع با بررسی‌های داده‌های بیشتر می‌تواند به عنوان پیشنهاد برای پژوهش‌های آتی مطرح گردد.

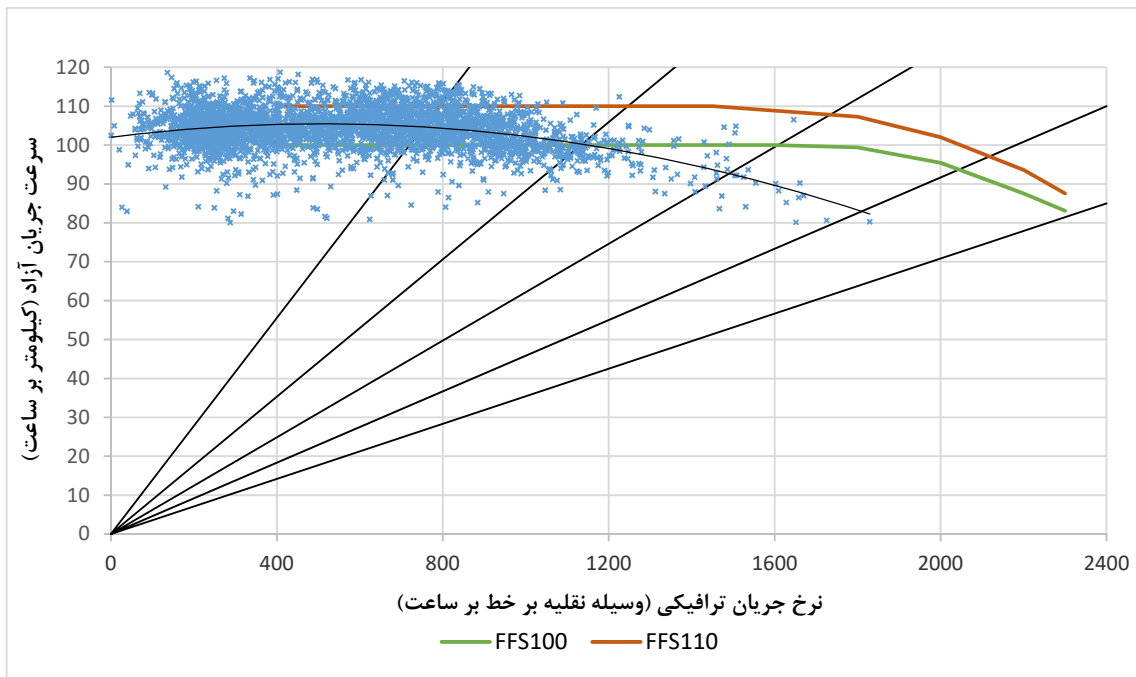
همان‌طور که در جدول ۹ مشاهده می‌شود با توجه به اینکه  $P$ -Value ضرایب معادله کمتر از ۰/۰۵ است، ضرایب معادله در سطح اطمینان ۹۵٪ معنی دار هستند.

در شرایط جوی غیربارانی و آفتابی نیز متغیر نرخ جریان عبوری می‌تواند ۹۸/۸۸ در صد از تغییرات متغیر سرعت جریان آزاد را تبیین کند که مقدار قابل توجهی است.

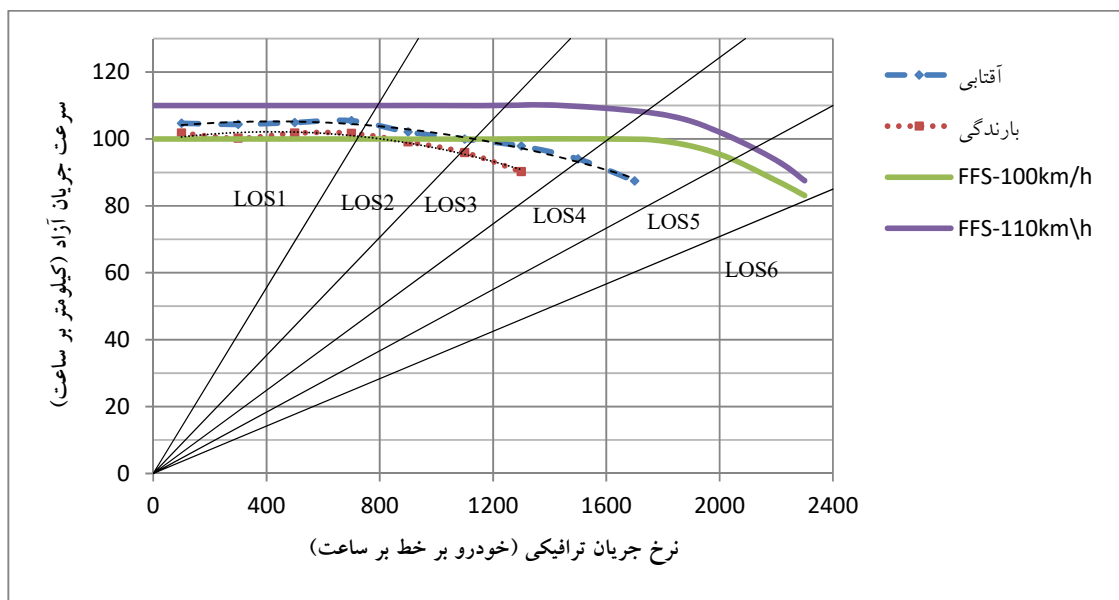
منحنی‌های سرعت جریان آزاد-نرخ جریان ترافیکی برای دو وضعیت آب‌وهوای بارانی و غیر بارانی (آفتابی) متناظر با مدل‌های رگرسیون برازش شده مطابق با شکل ۴ و شکل ۵ رسم شده‌اند. همچنین منحنی‌های میانگین سرعت جریان آزاد - متوسط نرخ جریان ترافیکی برای دو وضعیت آب‌وهوای بارانی و غیربارانی (آفتابی) متناظر با مدل‌های رگرسیون برازش شده مطابق با شکل ۶ رسم شده است. بنابر انتظار منحنی مربوط به آب‌وهوای آفتابی بالاتر از منحنی مربوط به آب‌وهوای بارانی قرار گرفته است و اختلاف میان منحنی‌ها نشان‌دهنده تاثیرات بارندگی بر سرعت جریان آزاد، ظرفیت و سطح



شکل ۴. منحنی سرعت جریان آزاد-نرخ جریان در وضعیت آب‌وهوای بارانی



شکل ۵. منحنی سرعت جریان آزاد-نرخ جریان در وضعیت آب‌وهوای آفتابی



شکل ۶. منحنی میانگین سرعت جریان آزاد-نرخ جریان در دو وضعیت آب‌وهوای بارانی و آفتابی

## ۶. نتیجه‌گیری

تأثیر بارندگی بر سرعت جریان آزاد و ظرفیت در مناطق مختلف دنیا متفاوت بوده است و به منطقه جغرافیایی هر منطقه و میزان و شدت بارندگی و تعداد روزهای بارندگی در آن منطقه وابسته است. همچنین در مطالعات پیشین مشخص شد

در این تحقیق به بررسی تأثیر بارندگی بر وضعیت سرعت جریان آزاد و ظرفیت در آزاد راه‌ها پرداخته شد. ابتدا با توجه به تجربه و تحلیل تحقیقات پیشین این نتیجه استنباط گردید که

## بررسی تاثیر شرایط جوی و بارندگی بر سرعت جریان آزاد و ظرفیت تردد در آزاد راه...

جونز و گولسی، راخا و سیسیوپیکو به ترتیب مقادیر درصد کاهش ظرفیت ۱۰ تا ۱۵ درصد، ۱۰ درصد و ۷ تا ۸ درصد تعیین شده بود که مقادیر متغیری بوده و متناسب وضعیت جوی منطقه مورد مطالعه است که مقادیر مربوط به مطالعه سیسیوپیکو به مقدار بدست آمده در این مطالعه نزدیکتر است. همچنین با در نظر گرفتن مدل‌های رگرسیون برازش شده در دو حالت آب‌وهوای بارانی و آفتابی، مقادیر کاهش سرعت جریان آزاد در هر نرخ جریان مشخص مطابق با جدول ۱۰ است.

به این ترتیب در نرخ جریان‌های ۰، ۱۲۰۰ و ۱۶۰۰ و سیله نقلیه در هر ساعت در هر خط به ترتیب سرعت جریان آزاد ۳/۷، ۵/۷ و ۹/۹ درصد کاهش می‌یابد. با افزایش تردد و نرخ جریان در آزادراه، درصد کاهش سرعت جریان آزاد نیز بیشتر می‌شود. همچنین با برون یابی دو منحنی در شرایط بارانی و غیر بارانی می‌توان انتظار این نتیجه را داشت که کاهش سرعت در نرخ جریان ۲۴۰۰ و سیله نقلیه در ساعت بر خط به میزان ۳۱ درصد است. بنابراین درصد کاهش سرعت جریان آزاد در آزادراه تهران قم ۳/۷ تا ۳۱ درصد است که به طور متوسط ۱۲/۶ درصد کاهش در سرعت جریان آزاد مشاهده گردید.

در مطالعه راخا کاهش سرعت در اثر بارندگی تا ۱۰ درصد تعیین شده است، در مطالعه سیسیوپیکو ۸ تا ۱۲ درصد کاهش و در مطالعه سپاکیز<sup>۲۰</sup> برای باران سبک، متوسط و سنگین به ترتیب ۰/۱ تا ۲/۱، ۱/۵ تا ۳/۸ و ۴ تا ۶ درصد کاهش در سرعت جریان آزاد تعیین شده بود که تفاوت در این مقادیر به دلیل تفاوت منطقه جغرافیایی است. بازه ۳/۷ تا ۹/۹ درصد کاهش بدست آمده در این مطالعه شامل شدت بارش باران سبک، سنگین و متوسط است که از یکدیگر تفکیک نشده‌اند و مقادیر بدست آمده در این مطالعه به نتایج بدست آمده در مطالعات پیشین بسیار نزدیک بوده و اختلاف جزئی میان آنها را می‌توان به دلیل تفاوت منطقه جغرافیایی توجیه نمود.

با تعیین ضرایب کاهش سرعت جریان آزاد ۳/۷ تا ۹/۹ درصد و ظرفیت (۳/۵ تا ۸/۹ درصد) در زمان بارش باران مربوط به آزادراه تهران-قم و با تعمیم این ضرایب به آزادراه‌های ایران، می‌توان مقادیر ظرفیت و سرعت جریان آزاد آزادراه‌هایی که سی‌امین ساعت اوج سال آن‌ها در روزها بارانی قرار دارد، با استفاده از این ضرایب تصحیح نمود.

که نرخ جریان تردد وسایل نقلیه در میزان کاهش سرعت اثر بخش بوده است و بارندگی بر کاهش ظرفیت راه‌ها نیز تاثیر می‌گذارد.

سپس با استفاده از استنتاج نتایج آماری تردد وسایل نقلیه و وضعیت جوی آزادراه تهران-قم در طی ۶ ماه پایانی سال ۹۱، داده‌ها مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفت. تجزیه و تحلیل آماری مورد استفاده در این تحقیق اعتبار سنجی داده‌های سرعت از طریق آزمون‌های آماری کلموگروف-اسمیرنوف، آزمون T و آزمون‌های F و لون و برازش یک مدل رگرسیون چند جمله‌ای درجه دو برای متغیرهای سرعت جریان آزاد و نرخ جریان است. نتیجه برازش رگرسیون درجه دو اختلاف میان منحنی سرعت-جریان در شرایط بارانی و غیربارانی را نشان داد که نشان‌دهنده تاثیر بارندگی در کاهش ظرفیت و سرعت جریان آزاد آزادراه است.

با مقایسه دو مدل رگرسیون برآورد شده سرعت جریان در روزهای بارانی و غیر بارانی در محدوده مرزی هر سطح سرویس میزان کاهش نرخ جریان بدست می‌آید که این مقدار، میزان کاهش ظرفیت در آن سطح سرویس مشخص را تعیین می‌کند. نتایج بدست آمده مربوط به آزادراه تهران-قم بصورت زیر هستند.

کاهش ظرفیت در سطح کیفیت ترافیک (۱) به میزان ۳/۵ درصد است؛

کاهش ظرفیت در سطح کیفیت ترافیک (۲) به میزان ۵/۳ درصد است؛

کاهش ظرفیت در سطح کیفیت ترافیک (۳) به میزان ۶/۰ درصد است؛

کاهش ظرفیت در سطح کیفیت ترافیک (۴) به میزان ۷/۶ درصد است؛

کاهش ظرفیت در سطح کیفیت ترافیک (۵) به میزان ۸/۹ درصد است.

با توجه به این مقادیر، بارش باران در آزادراه تهران-قم ۳/۵ تا ۸/۹ درصد ظرفیت آزادراه را کاهش می‌دهد که به طور متوسط ۶/۲۶ درصد کاهش در ظرفیت را نشان می‌دهد. در مطالعات

جدول ۱۰. نتایج کاهش سرعت جریان آزاد در نرخ جریان مشخص مربوط به آزادراه تهران-قم

۱۶۰۰	۱۲۰۰	۰	جریان (وسیله نقلیه بر خط بر ساعت)
۹۰/۷۸	۹۸/۹۶	۱۰۳/۳۶	سرعت در ساعات بدون بارندگی (کیلومتر بر ساعت)
۸۱/۸۳	۹۳/۳۱	۹۹/۵۱	سرعت در ساعات با بارندگی (کیلومتر بر ساعت)
% ۹/۹	% ۵/۷	% ۳/۷	میزان کاهش سرعت

linear approximations"

-Hablas, H. E. (2007) "A study of inclement weather impacts on freeway free-flow speed", Thesis submitted to the Virginia Polytechnic.

-Ibrahim, A. T. and Hall, F. L. (1994) "Effect of adverse weather conditins on speed-flow-occupancy relationshps", Transportation Research Record, No. 1457, Part 2, Traffic Flow and Capacity., pp.184-191.

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

-Knapp, Keith K., Smithson, Leland. D. and Khattak, Aemal. J. (2000)" The mobility and safety impacts of winter storm events in a freeway environment", Mid-Continent Transportation Symposium Proceedings, pp.67-71.

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

-Mamhassani, H. S., Dong, Jing., Kim, Jiwon., Chen, Roger B. and Park, Byungkyu (2009) "Incorporating weather impacts in traffic estimation and prediction systems", U.S. Department of Transportation.

-Johnson, R. (1985) "Miller and Freund's probability and statistics for engierrs ", Madison, University f Wisconsin.

-Rakha, H., Hranac, Robert., Sterzin, Emily., Krechmer, Daniel. and Farzaneh, Mohamadreza (2006) "Empirical studies on traffic flow in inclement weather", U.S. Department of Transportation.

-Sisiopiku, Virginia.P., Akin, Darcin and Skabardonis, Alexander ( 2011) "Impacts of weather on traffic flow characteristics of urban

به منظور تعیین دقیق‌تر مقدار این ضرایب کاهش‌دهنده و تعمیم آن به کلیه آزادراه‌های کشور پیشنهاد می‌گردد این فرآیند در چند آزادراه دیگر هم به عنوان مطالعه موردی انجام شود و با میانگین‌گیری یا منطقه‌بندی مربوط به هر مورد مطالعه، ضریب کاهش‌دهنده کشور تعیین شود. همچنین با تفکیک وضعیت بارندگی به بارش‌های برف و باران و تفکیک از لحاظ شدت بارش، می‌توان به نتایج دقیق‌تری دست یافت.

## ۷. سپاسگزاری

از مساعدت‌های فراوان جناب آقای مهندس هزارسی که در تهیه داده‌های بارندگی همکاری ارزشمندی نموده‌اند و همچنین از همکاری سرکارخانم دکتر روشن پور سپاسگزاری می‌شود.

## ۸. پی‌نوشت‌ها

1. Knepp.
2. Jones.
3. Goolsby
4. Ibrahim and Hall.
5. Smit.
6. Rakha.
7. Highway Capacity Manual 2000 (HCM).
8. Sisiopiku
9. Minitab
10. Kurtosis
11. Skewness
12. Kolmogorov-Smirnov (K\_S)
13. T-Student Test
14. Levene
15. LOS A.
16. LOS B.
17. LOS C.
18. LOS D.
19. LOS E.
20. Tsapakis

## ۹. مراجع

-Bates, D. M. and Watts, D. G. (1998) "Nonlinear regression: iterative estimation and



doi:10.1038/169107a0

-TRB Executive Committee (2010) "Highway capacity manual (HCM)", Transportation Research Board (TRB).

-Tsapakis, I., Cheng, T. and Bolbol, A. (2013) "Impact of weather conditions on macroscopic urban travel times", Journal of Transport Geography, No. 28, pp.204–211. Available at: <http://dx.doi.org/10.1016/j.jtrangeo.2012.11.003>.

freeways in Istanbul", 6th International Symposium on Highway Capacity and Quality of Service, (November 2015), pp.89–99.

-Smith, Bralin L., Byrne, Kirists. G., Copperman, Rachel. B., Hennessy, Susan. M. and Goodall, Noah. J. (2003) "An investigation into the impact of rainfall on freeway traffic flow", 83<sup>rd</sup>. Annual Meeting of the Transportation Research Board, p.15.

-Tanner, J. C. (1952) "Effect of weather on traffic flow", Nature, 160- 107,