

مدل بر آورد سرعت وسایل نقلیه در اثر سرعت گاهها

فرشیدرضا حقیقی^۱، مهلا زادخوری^۲

از صفحه ۴۵ تا ۶۸

تاریخ دریافت: ۱۳۹۷/۰۴/۰۶ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۸/۰۶/۲۵

چکیده

با توجه به استفاده فراوان از سرعت گیر و سرعت گاهها به عنوان ابزارهای آرام سازی در راههای کشور خصوصاً در استانهای شمالی (به علت دسترسی های زیاد، تداخل نقش های اجتماعی و جابه جایی راه و تفاوت زیاد سرعت وسایل نقلیه با سرعت مجاز تعیین شده)، در این پژوهش، بررسی اثربخشی این اقدامات در کاهش سرعت مدنظر قرار گرفته است. این مطالعه به تعیین ارتباط بین مشخصات هندسی سرعت گاهها و سرعت وسایل نقلیه در ۹۰ سرعت گاه نصب شده در نواحی مختلف از راههای واقع در شرق استان مازندران پرداخته است. از آنجایی که نمونه مورد بررسی شامل انواع سرعت گاهها اعم از قوسی و تخت بود و در راههایی با رده های مختلف عملکردی اجرا شد، برای بررسی بهتر، سرعت گاهها دسته بندی شدند و به طور جداگانه مشخصات هندسی هر کدام مشخص و سرعت وسایل نقلیه در پیرامونشان برداشت شد. سرعت وسایل نقلیه در چند نقطه قبل، رو و بعد از سرعت گاه با استفاده از دوربین سرعت سنج ثبت شد و ابعاد هر یک از سرعت گاهها با استفاده از دوربین توتال استیشن به صورت دقیق برداشت شد. در نهایت با استفاده از مدل رگرسیون خطی، داده ها در نرم افزار SPSS مورد ارزیابی قرار گرفته و عوامل اصلی تأثیر گذار روی کاهش سرعت وسایل نقلیه به همراه مدل رگرسیونی بر آورد کاهش آن ارائه گردید. با توجه به اینکه تعداد سرعت گاههای مورد مطالعه زیاد بوده است، نتایج این پژوهش نشان داد که برای طراحی و اجرای سرعت گاهها در سرعت های عبور و سرعت های هدف مختلف می توان از این مدلها استفاده نمود تا اثربخشی سرعت گاهها در کاهش سرعت و پروفیل سرعت در فاصله های مختلف از سرعت گاهها را با سطح اطمینان بالایی مورد ارزیابی قرار داد.

کلیدواژه ها: آرام سازی فیزیکی ترافیک، سرعت گاه، مدل سازی سرعت، رگرسیون چند گانه خطی.

۱. استادیار گروه عمران، دانشگاه صنعتی نوشیروانی، بابل، (نویسنده مسئول)، haghghi@nit.ac.ir

2.zadkhori@gmail.com

امروزه سرعت غیرمجاز به‌عنوان عامل اصلی اشتباهات انسانی در به‌وجود آوردن تصادفات مطرح است که علی‌رغم هشدارها در خصوص رانندگی با سرعت غیرمجاز، همچنان دلیل اصلی آمار بالای تصادفات در سراسر دنیا می‌باشد. ابزارهای آرام‌ساز جریان ترافیک^۱ از جمله تمهیداتی هستند که امروز توسط متصدیان امور ایمنی ترافیک به‌منظور اصلاح رفتار رانندگان نظیر کاهش سرعت وسایل نقلیه و یا تردد در بین خطوط مسیر به کار گرفته می‌شوند. این اقدامات به دو دسته کلی آرام‌سازهای ادراکی و فیزیکی تقسیم می‌شوند. در اقدامات ادراکی، آرام‌سازی با اثرگذاری بر ادراک و تصور راننده با استفاده از تغییراتی که در ویژگی‌های مسیر داده می‌شود، می‌تواند به انتخاب سرعت‌های پایین‌تر توسط راننده منجر شود و در اقدامات فیزیکی، تغییرات در موقعیت قائم و افقی مسیر مانند ایجاد سرعت‌گیر و سرعت‌کاهها، رانندگان را مجبور به کاهش سرعتشان می‌نماید. با توجه به اینکه سرعت غیرمجاز، عامل وقوع بسیاری از تصادفات می‌باشد و همچنین در مقاطعی از راه‌ها دسترسی‌های گسترده و تداخل نقش جابه‌جایی و اجتماعی، سرعت‌های کمتری را برای تردد وسایل نقلیه می‌طلبد، اجرای این اقدامات فیزیکی به‌منظور کاهش سرعت وسایل نقلیه، امری گریزناپذیر می‌باشد. از آنجایی که رانندگان متناسب با تغییرات فیزیکی مسیر، سرعتی را برای تردد در آن مقطع انتخاب می‌نمایند؛ بنابراین ارزیابی میزان تأثیر احتمالی نصب سرعت‌گیر و سرعت‌کاه در مسیرهایی که رانندگان اقدام به رانندگی با سرعت‌های غیرمجاز در آنها می‌کنند، بیش از گذشته مورد توجه می‌باشد. علاوه‌براین، شناسایی میزان تأثیر این نوع از اقدامات روی کاهش سرعت‌ها، مکان‌یابی بهینه آنها، فواصل بین آنها و تعیین ابعاد آنها (ارتفاع، طول و عرض) از اهداف این مطالعه بوده است؛ لذا این مطالعه در گام اول به دنبال تعیین ارتباط بین مشخصات هندسی سرعت‌کاهها و سرعت وسایل نقلیه در هنگام عبور از سرعت‌کاه می‌باشد و در گام بعدی، عوامل مؤثر بر میزان کاهش سرعت وسایل نقلیه در اثر نصب سرعت‌کاهها بررسی شده‌اند.

1. Traffic Calming

پیشینه پژوهش

پژوهشگران متعددی به مطالعه و بررسی تأثیر مؤلفه‌های مختلفی از ابزارهای آرام‌ساز ترافیک روی سرعت وسایل نقلیه پرداخته‌اند که استفاده از اقدامات فیزیکی به‌عنوان یک راهکار مؤثر در این زمینه در پژوهش‌های متعددی مورد بررسی قرار گرفته است. رحیمی و عباسی در سال ۱۳۹۲ به ارزیابی تأثیر ابزارهای کاهش سرعت و ارائه راه‌حلی برای رفع مشکلات این ابزارهای کنترل سرعت در کشور بر اساس تجربیات جهانی پرداخته‌اند. رحمانی رضائیه در سال ۱۳۹۱ به طراحی و ساخت یک سیستم کنترل سرعت هوشمند (سرعت‌گیر هوشمند) پرداخته است که در آن، به بررسی مزایای سرعت‌گیرها و نقش آن در کاهش تعداد و شدت تصادفات در بین وسایل نقلیه پرداخته است؛ معایب ذکر شده در این مطالعه شامل آسیب‌رساندن به سیستم تعلیق خودرو، آسیب‌رساندن به جان سرنشینان وسایل نقلیه و مصرف زیاد بنزین بود که رفع این معایب توسط هوشمند کردن سرعت‌گیرها مورد نظر بوده است. در نهایت نتایج حاکی از آن بود که سرعت‌گیر هوشمند می‌تواند ابزار مناسبی در صنعت حمل‌ونقل به‌منظور کنترل سرعت به‌شمار آید که مزایایی برای آن اشاره شد؛ از جمله: کاهش مصرف بنزین، جلوگیری از آسیب‌رساندن به سیستم تعلیق خودروها، جلوگیری از وارد شدن تأثیرات منفی برای دوچرخه‌سواران، موتورسواران و همین‌طور سرنشینان آمبولانس، جلوگیری از آسیب‌رساندن به سیستم کلاچ و ترمز، روان‌سازی و ایمن‌سازی عبور و مرور، کاهش تصادفات و پرونده‌های قضایی تصادفات و جلوگیری از صدمه‌رساندن به عابران پیاده.

هاکان و همکارانش (۲۰۱۷) پژوهشی را به‌منظور تعیین ابعاد بهینه سرعت‌گیر در یکی از خیابان‌های شهر استانبول انجام دادند. در این پژوهش بر اساس عبور یک خودرو طرح و با بهره‌گیری از نیروهای اصطکاکی، نیروی غلتشی و میزان چرخش چرخ‌ها در زمان قبل و در زمان برخورد با سرعت‌گیر میزان نیروهای به‌وجود آمده بین خودرو و سرعت‌گیر محاسبه شد. در گام بعدی، مانعی با ابعاد بزرگ‌تر در مسیر اجرا

شد و این کار چند بار دیگر با ابعاد مختلف اجرا گردید. در نهایت با محاسبه سرعت خودرو، ابعادی که به حداکثر کاهش سرعت در مسیر مورد نظر منجر شد، به عنوان ابعاد مناسب مانع معرفی گردید. عبدالواحد و هشیم (۲۰۱۷) مطالعه‌ای درباره تأثیرگذاری سرعت‌کاه‌ها روی میزان سرعت وسایل نقلیه و میزان وضعیت روسازی در دو شهر تاحتا و جرجا در کشور مصر انجام دادند. با مطالعه سرعت در نزدیکی سرعت‌کاه‌های موجود در این شهر، مشخص شد که تا حدی سبب کاهش سرعت وسایل نقلیه به صورت کوتاه مدت می‌شوند. از طرفی، با محاسبه میزان کاهش سرعت و افزایش سرعت‌ها با استفاده از سیستم GPS، تأثیر ابعاد سرعت‌کاه روی میزان خرابی‌های روسازی در مسیر مورد ارزیابی قرار گرفت. خرابی‌های موجود در فواصل قبل و بعد از سرعت‌کاه‌ها به تفکیک میزان خرابی تعیین شدند و بر اساس روابط ریاضی، میزان ارتباط ابعاد سرعت‌کاه و احتمال به وجود آمدن خرابی‌ها به دلیل کاهش سرعت و افزایش سرعت ناگهانی در مسیر، مؤثر شناخته شد.

گیتلمن و همکارانش (۲۰۱۶) پژوهشی با عنوان تغییرات رفتار کاربران راه پس از نصب ابزارهای کنترل سرعت در مسیرهای شهری را مورد بررسی قرار دادند. در این پژوهش، ۸ ایستگاه گذرگاه عابران پیاده به عنوان مسیرهای مورد مطالعه در نظر گرفته شد. میزان سرعت وسایل نقلیه عبوری از این مسیرها اندازه‌گیری شد و در گام بعدی محل گذرگاه عابران، گذرگاه برجسته عبور اجرا شد. مطالعات سرعت پس از اجرای گذرگاه نیز در مسیرهای مطالعاتی مورد اندازه‌گیری قرار گرفت و با مقایسه میزان سرعت‌ها در مطالعات قبل و بعد از اجرا، مشخص شد که در بیشتر مسیرها، ارتباط معناداری بین اجرا و سرعت‌ها وجود دارد. نتایج این پژوهش نشان داد که اجرای گذرگاه برجسته سبب کاهش سرعت‌ها تا ۳۵ درصد سرعت وسایل نقلیه عبوری از مسیر در حالت قبل می‌شود. از سوی دیگر، میزان تأثیرگذاری احتمالی اجرای سرعت‌کاه دوزنقه‌ای و دایره‌ای بر کاهش سرعت بیشتر وسایل نقلیه مورد بررسی قرار گرفت. به همین منظور، دو سناریوی متفاوت شامل سرعت‌کاه دوزنقه‌ای و دایره‌ای با

ارتفاع‌های ۸ و ۱۲ سانتی‌متر بررسی شدند که تأثیر اجرای توأمان سرعت‌کاه‌ها بر کاهش سرعت وسایل نقلیه، مؤثر شناخته شد و در نهایت اجرای گذرگاه برجسته‌عابران پیاده و نیز اجرای سرعت‌کاه قبل از آن به‌عنوان طرح مناسب معرفی شد. کانجانا و نارومیت در سال ۲۰۱۳ میلادی به بررسی تأثیر پروفیل سرعت‌گیرها بر سرعت وسایل نقلیه و طراحی پروفیل مناسب به‌منظور کاهش تصادفات جاده‌ای نیز پرداخته‌اند. نتایج مطالعه نشان می‌دهد که استفاده از سرعت‌گیر با پروفیل نامناسب، احتمال بروز تصادف برای رانندگانی که جاده را برای اولین بار تجربه می‌کنند، افزایش می‌دهد. به همین منظور در این مطالعه، با استفاده از مدل‌سازی حرکت وسیله نقلیه بر روی سرعت‌گیر، پروفیل مناسب با توجه به سرعت حد تقاضا در شرایط مختلف نیز مورد بررسی قرار گرفته است.

یکی از مطالعات نزدیک به موضوع این مقاله، پژوهش آنتیک و همکارانش در سال ۲۰۱۳ میلادی است که به بررسی تأثیر ارتفاع سرعت‌گیر بر کاهش سرعت اشاره پرداختند. در این پژوهش، سه مکان با شرایط هندسی و عملکردی مشابه و سرعت مجاز ۵۰ کیلومتر بر ساعت انتخاب شدند. در هر مکان، دو سرعت‌گیر با ارتفاع‌های متفاوت ۳، ۵ و ۷ سانتی‌متر نصب شد. اندازه‌گیری سرعت در هر مکان در ۵ نقطه قبل، بعد و روی سرعت‌گیرها و در زمان‌های قبل از نصب، یک روز و یک ماه پس از نصب صورت گرفت. نتایج، کاهش قابل ملاحظه سرعت را در قبل و بعد از نصب سرعت‌گیر نشان داد. بر اساس یافته‌ها نتیجه گرفتند که در مکان‌هایی که برای کاربران آسیب‌پذیر پرخطر است، سرعت‌گیرهای با ارتفاع ۵ و ۷ سانتی‌متر و در مکان‌های کم‌خطرتر، سرعت‌گیرهای با ارتفاع ۳ سانتی‌متر باید نصب شوند. مشابه این کار، مورنو و گارسیا در سال ۲۰۱۲ میلادی به بررسی اثربخشی اقدامات آرام‌سازی ترافیک در راه‌های عبوری از جوامع شهری پرداختند. اقدامات مورد بررسی شامل سرعت‌گیر، سرعت‌کاه قوسی و تخت بوده است. آن‌ها با یک مدل رگرسیون چندگانه نشان دادند که یکنواختی سرعت در طول مسیر به هنگام عبور از ابزارهای آرام‌سازی ترافیک، با

متوسط سرعت عملکردی، رابطه عکس دارد. همچنین تراکم ابزار آرام‌سازی ترافیک، متغیری کلیدی در توصیف سرعت بیش از سرعت مجاز وسایل نقلیه می‌باشد.

مورنو و همکارانش در سال ۲۰۱۱ میلادی به بررسی اثر سرعت‌کاه تحت بر رفتار رانندگان، با توجه به مشخصات هندسی ابزارهای آرام‌سازی پرداختند و نتیجه، آن شد که کاهش سرعت هنگامی که وسایل نقلیه به سرعت‌کاه تخت نزدیک می‌شوند، به میزان زیادی به فاصله ابزار آرام‌سازی بستگی دارد و مشخصات هندسی سرعت‌کاه تخت، تأثیر کمتری بر آن دارد. علاوه بر این نشان دادند که سرعت ۸۵ درصد روی سرعت‌کاه تخت به طول و شیب رمپ ورودی سرعت‌کاه و فاصله آن تا ابزار آرام‌سازی قبلی بستگی دارد. باریوسا و همکارانش در مطالعه‌ای در سال ۲۰۰۰ میلادی، با تعیین سرعت وسایل نقلیه به کمک لوله‌های پنوماتیک نصب شده در ۱۶ نقطه از جاده، پروفیل سرعت بخش‌هایی از راه را که شامل ابزارهای آرام‌سازی از قبیل سرعت‌کاه قوسی، سرعت‌کاه تخت، بالشتک سرعت و پیچانه بود، به دست آوردند. یک مدل رگرسیون چندگانه ایجاد شد که ۵۵ درصد تغییرات سرعت را توصیف می‌کرد. مؤلفه‌های سرعت ورودی، نوع ابزار آرام‌سازی و فاصله از ابزار قبلی و بعدی، برای ساخت این مدل به کار گرفته شد. در این مطالعه، مؤلفه‌های هندسی در نظر گرفته نشده بود. همچنین در این مطالعه، میانگین نرخ افزایش و کاهش سرعت ایجادشده نیز به وسیله ابزارهای آرام‌سازی بر اساس پروفیل سرعت پیوسته تعیین شد. نتایج نشان داد که نرخ کاهش سرعت بین ۰/۲۵ تا ۰/۸۲ و نرخ افزایش سرعت بین ۰/۲۴ تا ۰/۵ متر بر مجذور ثانیه بوده است. در جدول ۱، خلاصه‌ای از تلاش‌های انجام‌پذیرفته در این زمینه آورده شده است.

جدول ۱. خلاصه پیشینه پژوهش

ردیف	نام نویسنده	عنوان مطلب	سال	نتایج
۱	هاکان و همکاران	تعیین ابعاد بهینه سرعت گیر	۲۰۱۷	ابعاد مناسب جهت کاهش سرعت ارائه شد.
۲	عبدالواحد و هشیم	اثر سرعت کاهها روی سرعت و روسازی قبل و بعد	۲۰۱۷	ارتباطیابی ابعاد سرعت کاه و احتمال به وجود آمدن خرابی‌ها به دلیل کاهش و افزایش سرعت ناگهانی در مسیر، مؤثر شناخته شد.
۳	گیتلمن و همکاران	تغییرات رفتار کاربران راه پس از نصب ابزارهای کنترل سرعت	۲۰۱۶	اجرای گذرگاه برجسته عابران پیاده و نیز اجرای سرعت کاه قبل از آن به عنوان طرح مناسب
۴	کانتجانا و نارومیت	تأثیر پروفیل سرعت گیرها بر سرعت وسایل نقلیه	۲۰۱۳	طراحی پروفیل مناسب به منظور کاهش تصادفات جاده‌ای
۵	آنتیک و همکارانش	بررسی تأثیر ارتفاع سرعت گیر بر کاهش سرعت	۲۰۱۳	باید سرعت گیرهای با ارتفاع ۵ و ۷ سانتی متر در مکان‌های کم خطرتر، سرعت گیرهای با ارتفاع ۳ سانتی متر نصب شوند.
۶	مورنو و گارسیا	بررسی اثربخشی اقدامات آرام سازی ترافیک در راه‌های عبوری	۲۰۱۲	یکنواختی سرعت در طول مسیر هنگام عبور از ابزارهای آرام سازی ترافیک، با متوسط سرعت عملکردی رابطه عکس دارد.
۷	مورنو و همکارانش	بررسی اثر مشخصات هندسی سرعت کاه تخت بر رفتار رانندگان	۲۰۱۱	سرعت ۸۵ درصد روی سرعت کاه تخت به طول و شیب رمپ ورودی سرعت کاه و فاصله آن تا ابزار آرام سازی قبلی بستگی دارد.
۸	باربوسا و همکارانش	به دست آوردن پروفیل سرعت وسایل نقلیه در بخش‌هایی از راه متأثر از ابزارهای آرام سازی	۲۰۰۰	ایجاد یک مدل رگرسیون چندگانه که ۵۵ درصد تغییرات سرعت را توصیف نمود.
۹	رحیمی و عباسی	ارزیابی تأثیر ابزارهای کاهش سرعت	۱۳۹۲	تعیین مزایا و معایب و نیز قواعد و استانداردهای نصب این ابزارها
۱۰	محمد رحمانی رضاییه	طراحی و ساخت یک سیستم کنترل سرعت هوشمند (سرعت گیر هوشمند)	۱۳۹۱	سرعت گیر هوشمند می‌تواند ابزار مناسبی در صنعت حمل و نقل به منظور کنترل سرعت به شمار آید.

در مطالعات پیشین، به مدل سازی و تعیین عوامل مؤثر بر سرعت روی سرعت کاه و یا میزان کاهش سرعت در اثر نصب سرعت کاه پرداخته شده که لازم است با توجه به محیط محلی و الگوی رفتاری مربوط به هر کشور، به این عوامل پرداخته شود. در بررسی مطالعات پیشین مشاهده می‌شود که در بررسی ابزارهای آرام سازی سلسله مراتب راهها در نظر گرفته نشده است؛ بنابراین لازم است سرعت کاهها از نواحی مختلف مورد بررسی قرار گیرند و با توجه به مشخصات محل نصب خود بهینه سازی

شوند. به این منظور در این مقاله، به بررسی تأثیرگذاری سرعت گاه‌های مختلف از لحاظ شکل و ابعاد در مقاطعی از راه‌ها با رده‌های عملکردی متفاوت پرداخته شده است.

روش پژوهش

شناسایی مکان‌ها

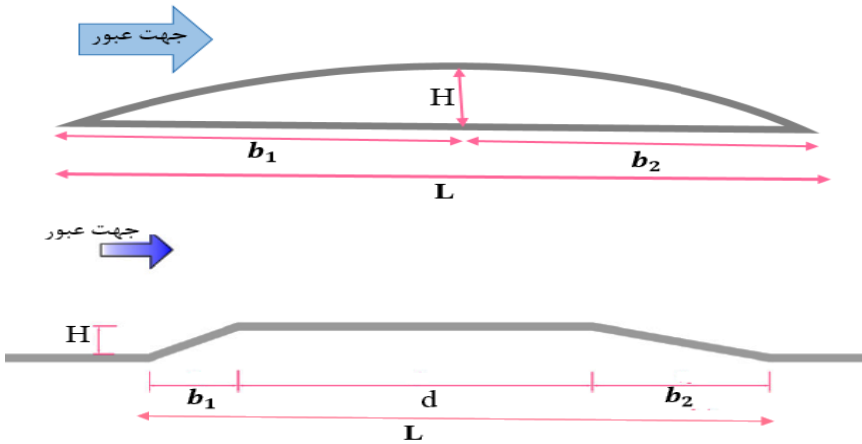
محدوده مطالعاتی این پژوهش، نواحی شهری و برون شهری شرق استان مازندران از شهرستان گلوگاه تا شهرستان بابل شامل شهرهای گلوگاه، بهشهر، رستمکلا، نکا، سورک، ساری، قائم شهر و بابل می‌باشد. در این مطالعه، ۹۰ سرعت گاه از نواحی داخل شهری با رده‌های عملکردی مختلف و همچنین بزرگراه‌های برون شهری واقع در محدوده مطالعاتی در نظر گرفته شده انتخاب شدند که از بین آن‌ها، ۶۹ سرعت گاه واقع در نواحی داخل شهری و ۲۱ سرعت گاه، واقع در نواحی غیرشهری و همچنین ۶۰ مورد از کل سرعت گاه‌ها، سرعت گاه قوسی و ۳۰ مورد سرعت گاه تخت می‌باشند.

پس از شناسایی سرعت گاه‌ها و تعیین مشخصات هندسی مربوط به هر سرعت گاه، متغیرهایی برای آن‌ها توسط مطالعات میدانی مشخص شد که شامل رده عملکردی (شریانی درجه ۱ و ۲ و بزرگراه)، سرعت مجاز (متغیر از ۳۰ تا ۶۰ کیلومتر بر ساعت)، عرض راه (متغیر از ۳/۵ تا ۱۸ متر)، میانه (وجود و عدم وجود میانه) و کاربری اطراف (با حضور عابر پیاده کم و زیاد و بدون عابر پیاده) می‌باشند. همچنین سرعت گاه‌ها از نظر آشکارسازی با علائم افقی و عمودی و رنگ آمیزی، وضعیت متفاوتی دارند.

مؤلفه‌های مشخصات هندسی سرعت گاه‌ها

با توجه به اینکه تعیین ارتباط بین ابعاد هندسی سرعت گاه و میزان کاهش سرعت وسیله نقلیه در اثر نصب سرعت گاه از اهداف این پژوهش می‌باشد، مشخصات هندسی سرعت گاه‌های انتخابی برداشت شد؛ این مشخصات شامل عرض سرعت گاه که برابر

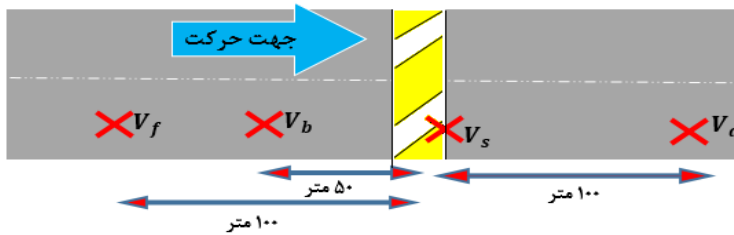
با عرض راه است (SW)، طول کل سرعت کاه در جهت مسیر (L)، طول رمپ اول (b_1)، طول رمپ دوم (b_2)، ارتفاع سرعت کاه (H) و طول قسمت مسطح میانی (d) به صورت معرفی شده در شکل ۲ بوده است. اندازه گیری‌ها توسط یک دستگاه دوربین نقشه برداری در محل انجام شد.



شکل ۱. شکل نمادین مقطع عرضی سرعتکاه قوسی و تخت

مشاهدات میدانی

برای تعیین توزیع سرعت وسایل نقلیه در مجاورت سرعت کاه‌ها، از اندازه گیری سرعت نقطه‌ای با استفاده از یک دوربین سرعت‌سنج دستی لیزری در اطراف هر سرعت کاه استفاده شد و ۴ نقطه برای هر سرعت کاه تحت عنوان نقاط برداشت سرعت در نظر گرفته شد. اولین نقطه در فاصله ۱۰۰ متری در بالادست سرعت کاه است که سرعت جریان ترافیک در آن نقطه تحت تأثیر سرعت کاه نصب شده نبود (V_f)، دومین نقطه در فاصله ۵۰ متری قبل از محل نصب سرعت کاه (V_b) قرار دارد، نقطه سوم واقع در روی سرعت کاه (V_s) می‌باشد که مطابق با مطالعه مورنو و همکارانش در این نقطه، سرعت کاه نصب شده بیشترین تأثیر را بر سرعت وسیله نقلیه دارد و نقطه چهارم در ۱۰۰ متر بعد از محل نصب سرعت کاه (V_a) می‌باشد. شکل ۲، موقعیت نقاط اندازه گیری سرعت وسایل نقلیه را در اطراف سرعت کاه به طور نمادین نشان می‌دهد.



شکل ۲. شکل نمادین موقعیت نقاط اندازه‌گیری سرعت در اطراف سرعت‌گاه

لازم به ذکر است که از بین ۹۰ سرعت گاه انتخابی این مطالعه، ۲۰ مورد از سرعت گاهها به صورت متوالی و با فواصل کمتر از ۱۵۰ متر نصب شده بودند و این تعداد از سرعت گاهها به صورت گروهی جداگانه مورد بررسی قرار گرفتند. تعداد نقاط برداشت سرعت در این گروه، برای هر جفت سرعت گاه متوالی ۶ نقطه شامل ۱۰۰ و ۵۰ متر قبل از اولین سرعت گاه، روی اولین سرعت گاه، بین سرعت گاه اولی و دومی، روی سرعت گاه دوم و ۱۰۰ متر بعد از دومین سرعت گاه می‌باشد. در هریک از نقاط اندازه‌گیری، سرعت ۹۶ وسیله نقلیه اندازه‌گیری شد که این اندازه نمونه مطابق با مطالعات پیشین، با توجه به تمایل توزیع سرعت به نرمال، برای ارائه توزیع سرعت کافی می‌باشد و پس از انجام مشاهدات، اندازه نمونه با مقادیر انحراف معیار و خطای استاندارد واقعی کنترل می‌شود.

از آنجایی که بررسی سرعت نقطه‌ای باید در شرایط جریان آزاد انجام گیرد تا برداشت‌ها تحت تأثیر حجم و تراکم نباشند؛ بنابراین اندازه‌گیری سرعت در شرایطی انجام شد که حجم ترافیک بیش از ۵۰۰ وسیله نقلیه بر ساعت نباشد که مطابق با سرفاصله زمانی بیش از ۷ ثانیه می‌باشد. به منظور اینکه سرعت‌های اندازه‌گیری شده نمایانگر شرایط واقعی جریان ترافیک باشند، می‌بایست تجهیزات اندازه‌گیری سرعت از دید رانندگان پنهان شود؛ به طوری که رانندگان متوجه ثبت سرعت نشوند. اندازه‌گیری در شرایط آب‌وهوایی خوب و در روزهای کاری (از شنبه تا چهارشنبه) و در ساعات غیر اوج (بین ساعات ۸ تا ۱۲ و بین ساعات ۱۴ تا ۱۷) انجام شد.

روش تحلیل

به منظور بررسی عملکرد رانندگان در برابر سرعت کاه‌ها و تعیین میزان اثربخشی این ابزارهای آرام‌سازی ترافیک در کاهش سرعت، در ابتدا به تحلیل و مقایسه داده‌های سرعت به کمک نرم‌افزار Spss پرداخته شد. به این ترتیب که ابتدا نرمال بودن توزیع داده‌های سرعت برای تمامی سرعت کاه‌ها، با محاسبه عدد مربوط به چولگی و کشیدگی و همچنین آزمون‌های کلموگروف - اسمیرنوف و شاپیرو و ویلک مورد بررسی قرار گرفت. برای بررسی میزان اثربخشی سرعت کاه‌ها در کاهش سرعت، به مقایسه میانگین سرعت وسایل نقلیه در دو نقطه ۱۰۰ متر قبل از محل نصب سرعت کاه (V_f)، نقطه‌ای که سرعت وسایل نقلیه تحت تأثیر سرعت کاه نمی‌باشد) و روی سرعت کاه (V_s)، نقطه‌ای که سرعت کاه نصب شده، بیشترین تأثیر را روی سرعت وسایل نقلیه دارد)، پرداخته شد و با استفاده از آزمون t ، معناداری اختلاف بین میانگین سرعت‌های اندازه‌گیری شده در دو نقطه برای هر سرعت کاه بررسی شد.

به منظور بررسی تعیین عوامل تأثیرگذار بر سرعت وسایل نقلیه روی سرعت کاه‌ها و میزان کاهش سرعت ایجاد شده در اثر نصب سرعت کاه و به دنبال آن، تعیین ارتباط بین ابعاد هندسی سرعت کاه و میزان کاهش سرعت در اثر نصب سرعت کاه، از مدل‌سازی رگرسیون خطی چندگانه استفاده شد.

آزمون‌های آماری

نرمال بودن داده‌ها

در ابتدا به نرمال بودن توزیع داده‌های سرعت پرداخته شد. با محاسبه عدد مربوط به چولگی و کشیدگی برای تمامی داده‌ها و بر اساس نتایج جدول ۲ مشاهده می‌شود که این مقادیر در بازه (۲ تا -۲) قرار دارند؛ همچنین آماره آزمون‌های کلموگروف - اسمیرنوف و شاپیرو و ویلک، برای تمامی نقاط اندازه‌گیری بزرگ‌تر از ۰/۰۵ به دست آمد که بر نرمال بودن توزیع داده‌ها دلالت دارند.

۵۶ آزمون t

فصلنامه علمی راهبر

سال هشتم-شماره ۳۹

تابستان ۱۳۹۸

با محاسبه سرعت میانگین و سرعت ۸۵ درصد برای هر سرعت گاه در دو نقطه روی سرعت گاه (V_s) و نقطه آزاد از تأثیر سرعت گاه که در این مطالعه ۱۰۰ متر قبل از محل نصب سرعت گاه در نظر گرفته شده بود (V_f)، نتیجه شد که در تمامی سرعت گاه‌های مورد بررسی، کاهش سرعت اتفاق افتاده است. برای بررسی معناداری کاهش سرعت مشاهده شده در بین دو گروه سرعت V_f و V_s ، از آزمون t هم‌پسته استفاده شد. نتایج آزمون t نشان‌دهنده آن است که اختلاف مشاهده شده در میانگین‌های سرعت دو نقطه، در سطح اطمینان ۹۵ درصد، از نظر آماری معنادار بوده و کاهش سرعت در اثر نصب سرعت گاه، واقعی می‌باشد. خلاصه‌ای از تحلیل آماری داده‌های سرعت در جدول ۲ آورده شده است.

جدول ۲. خلاصه‌ای از تحلیل آماری داده‌های سرعت، برای مقایسه میانگین سرعت در نقطه قبل و روی سرعت گاه

انحراف میانگین معیار	حداکا	حدافل	نام دسته
۹/۸	۵۴/۶۹	۲۴/۴۰	دسته ۱ (سرعت گاه قوسی، شهری)
۶۱/۶	۸۲/۵۳	۲۹/۲۹	
۸۵/۴	۸/۲۵	۸۱/۸	
٪۵	٪۳۰	٪۱۷	
۱۲/۴	۶۶/۷۹	۳۹/۶۹	دسته ۲ (سرعت گاه قوسی غیر شهری)
۸۴/۴	۵۹	۳/۴۷	
۴۶/۳	۵۹/۲۶	۳۲/۱۵	
٪۴/۵	٪۲۷	٪۳۶	
۵۶/۸	۱۱/۷۰	۹۷/۴۵	دسته ۳ (سرعت گاه تخت)
۴/۷	۱۴/۵۴	۴۷/۳۰	
۹۴/۱	۲۶/۲۰	۶۴/۱۳	
٪۲/۹	٪۲۸	٪۳۵	

یادآوری می‌شود که در جدول ۲، منظور از درصد کاهش سرعت در اثر نصب سرعت‌کاه نسبت به سرعت در نقطه قبل از نصب سرعت‌کاه، $Re = \frac{V_f - V_s}{V_f} \times 100$ می‌باشد.

مدل‌سازی با استفاده از رگرسیون خطی چندگانه

در این مطالعه برای شناسایی عوامل مؤثر بر سرعت وسیله نقلیه در اثر نصب سرعت‌کاه و همچنین برقراری ارتباط بین سرعت و یا میزان کاهش سرعت وسایل نقلیه در برابر سرعت‌کاه‌ها و مشخصات هندسی سرعت‌کاه‌ها، از روش مدل‌سازی رگرسیون استفاده شده است. برای همه دسته‌های تفکیک‌شده، دو مدل رگرسیون چندگانه با استفاده از نرم‌افزار spss ساخته شد که برای هر دسته، یک مدل برای سرعت روی سرعت‌کاه (V_s) و یک مدل برای میزان کاهش سرعت در اثر نصب سرعت‌کاه نسبت به سرعت در نقطه قبل از نصب (Re) می‌باشد.

مدل رگرسیون مربوط به دسته سرعت کاه قوسی، شهری

دسته ۱ مربوط به سرعت‌کاه‌های قوسی شهری است که برای جلوگیری از هم‌بستگی (هم‌خطی) بین متغیرهای مستقل و تأثیر منفی آن روی متغیر وابسته، از آزمون هم‌بستگی پیرسون برای متغیرهای کمی - کمی و یا کمی - اسمی و از آزمون کای دو برای متغیرهای اسمی - اسمی استفاده شد. با بررسی نتایج حاصل از آزمون‌های پیرسون و کای دو، متغیرهای سرعت قبل (V_f)، ارتفاع سرعت‌کاه (H)، طول رمپ اول سرعت‌کاه (b_1)، کاربری اطراف (use)، نوع میانه (M)، عرض راه (RW) و وجود آرام‌ساز تکمیلی ($Scalm$) به دلیل هم‌بستگی بیشتر با متغیر وابسته برای مدل‌سازی سرعت روی سرعت‌کاه (V_s) انتخاب شدند؛ ضمناً همین متغیرها نیز هم‌بستگی بیشتری با متغیر وابسته Re نشان دادند و نتایجاً برای مدل‌سازی میزان کاهش سرعت در اثر نصب سرعت‌کاه نسبت به سرعت قبل از نصب نیز انتخاب شدند. نتایج نهایی

خروجی نرم‌افزار برای مدل‌سازی سرعت روی سرعت‌کاه در دسته ۱ (V_{s1}) در جدول ۳ تا ۵ نشان داده شده است.

جدول ۳. ضرایب مدل نهایی رگرسیون چندگانه (V_{s1})

عامل تورم واریانس	روداری	سطح معناداری	آماة t	ضرایب استاندارد شده (Beta)	ضرایب استاندارد نشده (B)	متغیر	نماد متغیر
		۰۴۳/۰	۱۰۱/۲		۷۱۰/۷	مقدار ثابت	constant
۱۱۹/۱	۸۹۳/۰	۰۰۰/۰	۱۴۸/۹	۷۷۱/۰	۵۶۹/۰	سرعت قبل نصب سرعت‌کاه	
۵۳۵/۱	۶۵۲/۰	۰۰۹/۰	-۲۷۸/۹	-۰/۲۷۵	-۵۲/۷۶۲	ارتفاع سرعت‌کاه	
۶۷۱/۱	۵۹۸/۰	۰۰۵/۰	۹۶۶/۲	۳۰۵/۰	۲۵۶/۱	طول رمپ اول	

جدول ۴. خلاصه مدل نهایی V_{s1}

ضریب هم‌بستگی چندگانه (R)	ضریب تعیین (R^2)	ضریب تعیین تعدیل شده	خطای معیار تخمین	آماره دورین واتسون
۸۸۶/۰	۷۸۴/۰	۷۶۵/۰	۳۲۰۳۹۸/۰	۶۱/۱

جدول ۵. تحلیل واریانس رگرسیون مربوط به مدل نهایی V_{s1}

مدل	مجموع مربعات	درجه آزادی	میانگین مربعات	آماره F	سطح معناداری
رگرسیون	۲۷۶/۱۳۷۰	۳	۴۲۵/۴۲۳	۲۴۷/۴۱	۰۰۰/۰
باقی مانده	۰۲۷/۳۴۹	۳۴	۲۶۶/۱۰		
کل	۳۰۴/۱۶۱۹	۳۷			

برای تعیین ضرایب مدل نهایی، بر اساس مقادیر ستون ضرایب استاندارد نشده نمی‌توان نتیجه گرفت متغیری که ضریب بیشتری دارد (بدون توجه به علامت آن)، تأثیر بیشتری بر متغیر وابسته دارد؛ زیرا واحدهای اندازه‌گیری متغیرها در این ستون متفاوت است؛ بنابراین برای مقایسه تأثیر متغیرها، ستون ضرایب استاندارد شده بتا (بدون توجه به علامت آن) به کار برده می‌شود؛ که این ضریب نشان‌دهنده میزان تغییر متغیر وابسته به‌ازای تغییری به‌اندازه یک انحراف معیار در متغیر مستقل می‌باشد. بنابراین مدل نهایی به‌دست آمده برای سرعت روی سرعت‌کاه مربوط به دسته ۱ (سرعت‌کاه‌های قوسی شهری) مطابق رابطه ۱ می‌باشد.

$$V_{s1} = 7.71 + 0.569 * V_f - 52.762 * H + 1.256 * b_1 \quad (1)$$

ضریب تعیین برای مدل نهایی ۰/۷۸ به دست آمد که نشان‌دهنده این است که ۷۸ درصد از تغییرات سرعت روی سرعت‌کاه به‌وسیله این مدل با سطح اطمینان ۹۵ درصد توصیف می‌شود. همچنین با توجه به مقدار به‌دست‌آمده برای معناداری آزمون، تحلیل واریانس صفر می‌باشد که بر معنادار بودن کل معادله رگرسیون دلالت دارد.

از طرفی دیگر، مدل میزان کاهش سرعت در اثر نصب سرعت‌کاه، مربوط به دسته ۱ یعنی سرعت‌کاه‌های قوسی شهری، مطابق رابطه ۲ به دست آمده است.

$$R \quad (2)$$

ضریب تعیین ۰/۴۴ برای مدل نهایی نشان‌دهنده آن است که ۴۴ درصد از تغییرات متغیر وابسته به‌وسیله متغیرهای مستقل این مدل با سطح اطمینان ۹۵ درصد تبیین می‌شود.

مدل رگرسیون مربوط به دسته ۲ تا ۴

مشابه مراحل مدل‌سازی برای سرعت‌کاه‌های دسته ۱، برای سرعت‌کاه‌های دسته ۲ تا ۴ نیز انجام شد که نتایج آن به‌صورت خلاصه در جدول ۶ ارائه شده است.

جدول ۶. مشخصات مدل سرعت‌کاه‌های دسته ۲ تا ۴

سرعت‌کاه دسته	نوع سرعت‌کاه	مدل سرعت روی سرعت‌کاه	ضریب تعیین در سطح اطمینان	مدل میزان کاهش سرعت	ضریب تعیین در سطح اطمینان
۲	سرعت‌کاه‌های قوسی (شهری و غیرشهری)	$V_{s2} = 7.447 + 0.604 * V_f - 47.397 * H + 1.005 * b_1 - 1.842 * Scalm$	۰/۸۸	$Re_2 = 0.216 + 0.646 * H - 0.012 * b_1 + 0.007 * RW + 0.021 * Scalm$	۰/۹۵
۳	سرعت‌کاه‌های تخت	$V_{s3} = -2.448 + 0.77 * V_f - 41.273 * H + 1.017 * b_1$	۰/۸۹	$Re_3 = 0.272 + 0.822 * H - 0.021 * b_1$	۰/۷۳
۴	سرعت‌کاه‌های متوالی با فاصله ۱۵۰ متر و کمتر	-	-	$Re_4 = 0.014 + 0.107 * Pos + 0.001 * Dis + 0.032 * use$	۰/۷۰

قابل ذکر است که دسته ۴ مربوط به سرعت کاههایی با فاصله کمتر از ۱۵۰ متر می باشد که به صورت گروه های دوتایی مورد بررسی قرار گرفته اند؛ بنابراین بررسی سرعت وسایل نقلیه روی سرعت کاهها در هر سرعت کاه به صورت منفرد فاقد معنی می باشد و نسبت کاهش سرعت (Re)، درک درست تری از تأثیرگذاری این گروه ها به دست می دهد؛ بنابراین برای این دسته، تنها به ارائه مدل برای Re بسنده شده است.

تفسیر مدل های ساخته شده و بحث

نتایج حاصل از مدل سازی رگرسیون چندگانه سرعت روی سرعت کاه (V_s)، مربوط به هر سه دسته ۱، ۲ و ۳ نشان داد که متغیرهای سرعت وسیله نقلیه در نقطه آزاد از تأثیر سرعت کاه، ارتفاع و طول رمپ اول سرعت کاه به خوبی می توانند تغییرات سرعت روی سرعت کاه را توصیف کنند؛ به این صورت که با افزایش میانگین سرعت در نقطه آزاد از تأثیر سرعت کاه، سرعت میانگین روی سرعت کاه افزایش می یابد. در واقع در هر مکانی که میانگین سرعت وسایل نقلیه در محل قبل از نصب سرعت کاه بالاتر باشد، سرعت روی سرعت کاه نیز بالاتر است. ارتباط سرعت روی سرعت کاه با متغیرهای ارتفاع و طول رمپ اول سرعت کاه به این صورت است که با افزایش ارتفاع و کاهش طول رمپ اول، سرعت روی سرعت کاه کمتری حاصل می شود. در واقع می توان گفت با افزایش ارتفاع و کاهش طول رمپ اول، شیب رمپ ورودی سرعت کاه افزایش می یابد و با افزایش شیب رمپ، به دلیل افزایش شتاب قائم وارده، ناراحتی ایجاد شده هنگام عبور از سرعت کاه افزایش می یابد؛ در نتیجه، رانندگان برای عبور راحت تر از سرعت کاه، سرعت روی سرعت کاه کمتری را انتخاب می کنند؛ اثر ارتفاع سرعت کاه بر میزان کاهش سرعت، مطابق نتیجه مطالعه آنتیک و همکارانش می باشد که با انجام یک مطالعه قبل - بعد مشاهده شد که با افزایش ارتفاع سرعت گیر، میزان کاهش سرعت، افزایش می یابد (نتیجه اول: افزایش ارتفاع و کاهش طول رمپ اول سرعت کاه در کاهش سرعت انواع سرعت کاهها مؤثر است).

در مدل‌سازی مربوط به دسته ۲ یعنی کل سرعت‌کاه‌های قوسی (شهری و غیرشهری)، علاوه بر این سه متغیر ذکر شده، حضور ابزار آرام‌سازی تکمیلی نیز یک متغیر تأثیرگذار در توصیف تغییرات سرعت روی سرعت‌کاه محسوب شد. در صورتی که ابزار آرام‌سازی تکمیلی در نزدیکی محل نصب سرعت‌کاه وجود داشته باشد، میانگین سرعت وسایل نقلیه روی سرعت‌کاه، کمتر خواهد بود. شاید علت اینکه این متغیر برای توصیف سرعت روی سرعت‌کاه‌های قوسی شهری معنادار نبوده است، این باشد که سرعت در حالت آزاد از تأثیر سرعت‌کاه در نواحی شهری نسبت به نواحی غیرشهری کمتر و نزدیک‌تر به سرعت مطلوب رانندگان برای عبور از سرعت‌کاه می‌باشد. (نتیجه دوم: وجود ابزار آرام‌سازی تکمیلی قبل از محل نصب سرعت‌کاه در نواحی شهری، تأثیر چندانی بر رفتار رانندگان نخواهد داشت و سرعت وسایل نقلیه تا قبل از رسیدن به سرعت‌کاه، تغییر چندانی نخواهد کرد).

نتایج حاصل از مدل‌سازی سرعت روی سرعت‌کاه مطابق است با مطالعه بی‌جارسون که با تعیین ارتباط آماری بین سرعت عبوری از سرعت‌کاه و مشخصات هندسی هر دو سرعت‌کاه قوسی و تخت نتیجه گرفت با افزایش ارتفاع سرعت‌کاه و یا افزایش شیب رمپ اول و دوم سرعت‌کاه، سرعت عبوری از سرعت‌کاه کاهش می‌یابد؛ و همچنین با افزایش طول سرعت‌کاه تخت، سرعت عبوری از سرعت‌کاه افزایش می‌یابد. مطالعه مورنو و همکارانش در سال ۲۰۱۲ میلادی با ایجاد یک مدل رگرسیون با ضریب تعیین ۷۷ درصد موجب این نتیجه شد که سرعت عملکردی در اثر نصب سرعت‌کاه به متغیرهای سرعت مجاز اعلان‌شده و تراکم ابزار آرام‌سازی بستگی دارد. به این صورت که سرعت مجاز کمتر و تراکم بیشتر ابزار آرام‌سازی، سرعت عملکردی در اثر نصب سرعت‌کاه کمتری را نتیجه می‌دهد. مورنو و همکارانش در سال ۲۰۱۱ میلادی در مطالعه‌ای با ایجاد یک مدل رگرسیون چندگانه با ضریب تعیین ۴۰ درصد نتیجه گرفتند که سرعت روی سرعت‌کاه تخت، به شیب رمپ ورودی سرعت‌کاه بستگی دارد و به ایجاد شتاب قائم متفاوت در وسیله نقلیه می‌شود منجر و با افزایش شیب رمپ

ورودی، سرعت روی سرعت‌کاه کاهش می‌یابد؛ علاوه‌براین به طول کل سرعت‌کاه هم بستگی دارد که آن‌هم به شیب رمپ مربوط می‌شود در نتیجه با افزایش طول سرعت‌کاه، سرعت عبوری نیز افزایش می‌یابد و همچنین افزایش فاصله تا ابزار آرام‌سازی قبلی، سرعت روی سرعت‌کاه را افزایش می‌دهد.

در مدل ایجادشده برای دسته ۱ (Re_1) علاوه بر این دو متغیر، عرض راه، حضور ابزار آرام‌سازی تکمیلی و کاربری اطراف و در مدل ایجادشده برای دسته ۲ (Re_2) علاوه بر این دو متغیر، عرض راه و حضور ابزار آرام‌سازی تکمیلی نیز برای تعیین میزان کاهش سرعت معنادار هستند. همان‌طور که قبلاً توضیح داده شد، کاربری اطراف محل نصب سرعت‌کاه به‌صورت حضور عابر پیاده تعریف شده است که افزایش مقدار آن، معادل کاربری با حضور عابر پیاده زیاد و آسیب‌پذیر می‌باشد. مدل نشان می‌دهد در مکانی که کاربری اطراف با حضور عابر پیاده زیاد باشد، میزان کاهش سرعت کمتری در اثر نصب سرعت‌کاه اتفاق می‌افتد. این اتفاق شاید به این دلیل باشد که در این مکان‌ها، سرعت در حالت آزاد از تأثیر سرعت‌کاه کمتر و نزدیک‌تر به سرعت مطلوب رانندگان برای عبور از سرعت‌کاه است (به‌علت مشخصات محیطی) و در نتیجه میزان کاهش کمتری در اثر نصب سرعت‌کاه اتفاق می‌افتد (درواقع سرعت تا حد مطلوب از قبل پایین‌تر آمده است). تأثیر متغیر عرض راه در میزان کاهش سرعت در اثر نصب سرعت‌کاه به این‌صورت نشان داده شد که با افزایش عرض راه، میزان کاهش سرعت افزایش می‌یابد. شاید علت این باشد که افزایش عرض راه در برخی مکان‌های نصب سرعت‌کاه ناشی از تعریض به‌علت وجود تسهیلاتی مانند دوربرگردان و یا بریدگی باشد؛ بنابراین در این مکان‌ها به‌علت وجود این تسهیلات، کاهش بیشتری اتفاق افتاده است. حضور ابزار آرام‌سازی تکمیلی در نزدیکی سرعت‌کاه موجب افزایش میزان کاهش سرعت در اثر نصب سرعت‌کاه (در دسته ۱ و ۲) می‌شود؛ در واقع مقداری از کاهش سرعت مشاهده‌شده به‌علت حضور دیگر ابزار آرام‌سازی در اطراف سرعت‌کاه می‌باشد (نتیجه سوم: در راه‌های با عرض بیشتر، اثرات سرعت‌کاه در کاهش سرعت

بیشتر است).

در این مطالعه همان‌طور که پیش‌ازین بیان گردید، سرعت‌کاه‌هایی که به‌صورت دوتایی و متوالی با فاصله کمتر از ۱۵۰ متر نصب شده بودند، به‌دلیل اینکه در مقطع تأثیر یکدیگر قرار داشتند، به‌صورت یک دسته خاص و جداگانه با متغیرهای اضافه مدل‌سازی شدند. نتیجه نشان داد که میزان کاهش سرعت در اثر نصب دو سرعت‌کاه متوالی نسبت به سرعت در نقطه قبل از نصب (Re_4)، به موقعیت سرعت‌کاه دیگر و فاصله بین دو سرعت‌کاه و همچنین کاربری اطراف سرعت‌کاه بستگی دارد و متغیرهای مربوط به مشخصات هندسی سرعت‌کاه در این شرایط بر میزان کاهش سرعت تأثیرگذار نیستند. چنانچه یک سرعت‌کاه بعد از سرعت‌کاه موردنظر نصب شده باشد (سرعت‌کاه اول باشد)، میزان کاهش سرعت بیشتر است و با افزایش فاصله بین دو سرعت‌کاه، میزان کاهش سرعت، افزایش می‌یابد. همچنین تأثیر کاربری اطراف سرعت‌کاه به این‌صورت است که در مکان‌هایی که کاربری اطراف با حضور عابر پیاده زیاد باشد، میزان کاهش سرعت کمتری اتفاق می‌افتد. مطالعات بسیاری نشان دادند که فاصله بین ابزار آرام‌سازی، عامل تأثیرگذاری در کاهش سرعت می‌باشد. مطالعه مورنو و همکارانش در سال ۲۰۱۱ میلادی، با ایجاد یک مدل رگرسیون چندگانه که ۵۳ درصد از تغییرات میزان کاهش سرعت در اثر نصب سرعت‌کاه را توصیف می‌کند، نشان داد که تنها متغیر معنادار، فاصله تا ابزار آرام‌سازی قبلی می‌باشد و به مشخصات هندسی سرعت‌کاه بستگی ندارد.

نتایج و پیشنهادها

با مشاهدات میدانی رفتار رانندگانی که به سرعت‌کاه نزدیک می‌شوند، نتیجه شد که درصد زیادی از رانندگان قبل از رسیدن به این اقدام آرام‌سازی ترافیک، کاهش سرعت دارند؛ ولی این اقدام معمولاً در فاصله کمی تا قبل از محل نصب سرعت‌کاه انجام می‌گیرد. پس می‌توان نتیجه گرفت که این اقدامات، سرعت را به‌صورت مقطعی کاهش

می‌دهند. البته با توجه به هدف و موقعیت محل نصب این ابزارها به نظر می‌رسد که خواسته موردنیاز از نصب سرعت کاهها برآورده شود و چنانچه هدف، کاهش سرعت وسایل نقلیه در طول یک معبر باشد، می‌بایست سرعت کاهها در ترکیب با دیگر ابزار آرام‌سازی و یا به صورت سری (پشت سر هم) نصب گردند.

با مقایسه سرعت میانگین در دو نقطه روی سرعت کاه و نقطه آزاد از تأثیر سرعت کاه، نتیجه شد که در تمامی سرعت کاههای موردبررسی، کاهش سرعت معنادار اتفاق افتاده است و میانگین کاهش سرعت در اثر نصب سرعت کاه نسبت به سرعت در نقطه قبل از نصب سرعت کاه برای سرعت کاههای قوسی شهری ۳۰ درصد، در سرعت کاههای قوسی غیرشهری ۲۷ درصد و در سرعت کاههای تخت ۲۸ درصد می‌باشد. با مقایسه میانگین کاهش سرعت در اثر نصب سرعت کاه نسبت به سرعت در نقطه آزاد از تأثیر سرعت کاه مربوط به سرعت کاههای تخت و قوسی شهری، مشاهده می‌شود که میزان کاهش سرعت بیشتری در اثر نصب سرعت کاه قوسی نسبت به سرعت کاه تخت اتفاق می‌افتد. اگرچه با توجه به تنوع در مشخصات هندسی سرعت کاههای قوسی و تخت موردبررسی، برای مقایسه دقیق‌تر و درست‌تر می‌بایست تفکیک دقیق‌تری از نظر مشخصات هندسی سرعت کاهها صورت گیرد تا بتوان نتیجه گرفت که کدام نوع سرعت کاه تأثیر بیشتری در میزان کاهش سرعت دارد.

با مقایسه اختلاف میانگین سرعت در نقطه آزاد از تأثیر سرعت کاه و میانگین سرعت در روی سرعت کاه، برای سه دسته سرعت کاههای قوسی شهری، قوسی غیرشهری و تخت مشاهده شد که اختلاف میانگین سرعت در این دو نقطه در سرعت کاههای قوسی غیرشهری نسبت به دو دسته دیگر بیشتر می‌باشد. در واقع در این نواحی، یک کاهش سرعت شدید در اطراف سرعت کاه اتفاق می‌افتد که علت بالابودن سرعت در شرایط جریان آزاد در این نواحی می‌باشد؛ بنابراین به منظور اینکه شدت کاهش سرعت در اثر نصب سرعت کاه در این نواحی کاهش یابد، می‌بایست سرعت در نقطه خارج از تأثیر سرعت کاه (قبل از محل نصب) با نصب دیگر ابزار آرام‌سازی ترافیک، به سرعت

مطلوب برای عبور از سرعت‌کاه نزدیک شود.

با مقایسه میانگین سرعت وسیله نقلیه روی سرعت‌کاه و سرعت مجاز یافت شد که در درصد کمی از سرعت‌کاه‌ها، کاهش سرعت به اندازه سرعت مجاز نبوده است و از کل ۹۰ درصد کاه، ۸۰ درصد از سرعت‌کاه‌ها توانستند سرعت میانگین را به اندازه سرعت مجاز کاهش دهند.

نتایج حاصل از مدل‌سازی رگرسیون چندگانه سرعت روی سرعت‌کاه مربوط به هر سه دسته سرعت‌کاه‌های قوسی شهری و کل سرعت‌کاه‌های قوسی و سرعت‌کاه تخت نشان داد که متغیرهای سرعت وسیله نقلیه در نقطه آزاد از تأثیر سرعت‌کاه، ارتفاع و طول رمپ ورودی سرعت‌کاه، به خوبی می‌توانند تغییرات سرعت روی سرعت‌کاه را توصیف کنند. به این صورت که با افزایش میانگین سرعت در نقطه آزاد از تأثیر سرعت‌کاه، سرعت میانگین روی سرعت‌کاه افزایش می‌یابد. در واقع در هر مکانی که میانگین سرعت وسایل نقلیه در محل قبل از نصب سرعت‌کاه بالاتر باشد، سرعت روی سرعت‌کاه نیز بالاتر است. ارتباط سرعت روی سرعت‌کاه با متغیرهای ارتفاع و طول رمپ ورودی سرعت‌کاه به این صورت است که با افزایش ارتفاع و کاهش طول رمپ ورودی، سرعت روی سرعت‌کاه کمتری حاصل می‌شود. در واقع می‌توان گفت با افزایش ارتفاع و کاهش طول رمپ ورودی، شیب رمپ ورودی سرعت‌کاه افزایش می‌یابد و با افزایش شیب رمپ، به دلیل افزایش شتاب قائم وارده، ناراحتی ایجاد شده هنگام عبور از سرعت‌کاه افزایش می‌یابد. در نتیجه رانندگان برای عبور راحت‌تر از سرعت‌کاه، با سرعت کمتری از روی سرعت‌کاه عبور می‌کنند.

در مدل‌سازی مربوط به کل سرعت‌کاه‌های قوسی (شهری و غیرشهری)، علاوه بر این سه متغیر ذکر شده، حضور ابزار آرام‌سازی تکمیلی به عنوان یک متغیر تأثیرگذار در توصیف تغییرات سرعت روی سرعت‌کاه محسوب شده است. در صورتی که ابزار آرام‌سازی تکمیلی در نزدیکی محل نصب سرعت‌کاه وجود داشته باشد، میانگین سرعت وسایل نقلیه روی سرعت‌کاه، کمتر خواهد بود. شاید علت اینکه این متغیر

برای توصیف سرعت روی سرعت‌کاه‌های قوسی شهری معنادار نبوده است، این باشد که سرعت در حالت آزاد از تأثیر سرعت‌کاه در نواحی شهری نسبت به نواحی غیرشهری کمتر و نزدیک‌تر به سرعت مطلوب رانندگان برای عبور از سرعت‌کاه می‌باشد؛ بنابراین وجود ابزار آرام‌سازی تکمیلی قبل از محل نصب سرعت‌کاه در نواحی شهری، تأثیر چندانی بر رفتار رانندگان نخواهد داشت و سرعت وسایل نقلیه تا قبل از رسیدن به سرعت‌کاه، تغییر چندانی نخواهد کرد. در نتیجه با توجه به تأثیرگذار بودن این متغیر در تعیین سرعت روی سرعت‌کاه به منظور جلوگیری از کاهش سرعت شدید و ناگهانی در نواحی غیرشهری می‌بایست ابزار آرام‌سازی تکمیلی قبل از نصب سرعت‌کاه به کار برده شود تا میانگین سرعت وسیله نقلیه به سرعت مطلوب روی سرعت‌کاه نزدیک شود.

نتایج حاصل از مدل‌سازی رگرسیون چندگانه برای میزان کاهش سرعت در اثر نصب سرعت‌کاه نسبت به سرعت قبل از نصب، نشان داد که از بین متغیرهای مربوط به مشخصات هندسی سرعت‌کاه، متغیرهای ارتفاع و طول رمپ ورودی سرعت‌کاه برای هر سه دسته (سرعت‌کاه‌های قوسی، قوسی شهری و تخت) در تعیین میزان کاهش سرعت در اثر نصب سرعت‌کاه تأثیرگذار می‌باشند. به این صورت که با افزایش ارتفاع و کاهش طول رمپ ورودی سرعت‌کاه، میزان کاهش سرعت بیشتری نتیجه خواهد شد. در دسته سرعت‌کاه قوسی شهری، علاوه بر این دو متغیر، عرض راه، حضور ابزار آرام‌سازی تکمیلی و کاربری اطراف (حضور عابر پیاده) و در دسته کل سرعت‌کاه‌های قوسی هم علاوه بر این دو متغیر، عرض راه و حضور ابزار آرام‌سازی تکمیلی نیز برای تعیین میزان کاهش سرعت معنادار هستند.

کاربری اطراف محل نصب سرعت‌کاه به صورت حضور عابر پیاده تعریف شده است که افزایش مقدار آن معادل کاربری با حضور عابر پیاده زیاد و آسیب‌پذیر می‌باشد. در نتیجه، در مکانی که کاربری اطراف با حضور عابر پیاده زیاد باشد، میزان کاهش سرعت کمتری در اثر نصب سرعت‌کاه اتفاق می‌افتد؛ شاید به این دلیل که در این مکان‌ها،

سرعت در حالت آزاد از تأثیر سرعت‌کاه کمتر و نزدیک‌تر به سرعت مطلوب رانندگان برای عبور از سرعت‌کاه است (به‌علت مشخصات محیطی) و در نتیجه میزان کاهش کمتری در اثر نصب سرعت‌کاه اتفاق می‌افتد. تأثیر متغیر عرض راه در میزان کاهش سرعت در اثر نصب سرعت‌کاه به این صورت نشان داده شد که با افزایش عرض راه، میزان کاهش سرعت افزایش می‌یابد. شاید علت این باشد که افزایش عرض راه در برخی مکان‌های نصب سرعت‌کاه ناشی از تعریض به‌علت وجود تسهیلاتی مانند دوربرگردان و یا بریدگی باشد؛ بنابراین در این مکان‌ها به‌علت وجود این تسهیلات، کاهش بیشتری اتفاق افتاده است. همچنین حضور ابزار آرام‌سازی تکمیلی در نزدیکی سرعت‌کاه موجب افزایش میزان کاهش سرعت در اثر نصب سرعت‌کاه می‌شود. در واقع مقداری از کاهش سرعت مشاهده‌شده به‌علت حضور دیگر ابزار آرام‌سازی در اطراف سرعت‌کاه می‌باشد.

با بررسی سرعت‌کاه‌هایی که به‌صورت سری و با فاصله کمتر از ۱۵۰ متر از هم نصب شده‌اند، نتیجه شد که میزان کاهش سرعت در اثر نصب دو سرعت‌کاه متوالی نسبت به سرعت در نقطه قبل از نصب، به موقعیت سرعت‌کاه دیگر و فاصله بین دو سرعت‌کاه و همچنین کاربری اطراف سرعت‌کاه بستگی دارد و متغیرهای مربوط به مشخصات هندسی سرعت‌کاه در این شرایط، بر میزان کاهش سرعت تأثیرگذار نیستند.

منابع

- رحمانی رضاییه، محمد. (۱۳۹۱). طراحی و ساخت یک سیستم کنترل سرعت هوشمند (سرعت‌گیر هوشمند). *پازدهمین کنفرانس مهندسی حمل‌ونقل و ترافیک / ایران، تهران، سازمان حمل‌ونقل و ترافیک تهران، معاونت حمل‌ونقل و ترافیک شهرداری تهران.*
- رحیمی، امیرمسعود؛ عباسی، وحید. (۱۳۹۲). ارزیابی تأثیر ابزارهای کاهنده سرعت در کاهش حوادث ترافیکی. *هفتمین کنگره ملی مهندسی عمران، زاهدان، دانشگاه سیستان و بلوچستان.*

- Alavi, S.H., (2007). Analyzing raised crosswalks dimensions influence on speed reduction in urban streets, *In: Proceedings of the 3rd Urban Street Symposium*, Seattle, USA.
- Antić, B., Pešić, D., Vujančić, M. and Lipovac, K. (2013). The influence of speed bumps heights to the decrease of the vehicle speed–Belgrade experience, *Safety science*, 57, pp.303-312.
- Barbosa, H.M., Tight, M.R. and May, A.D., (2000). A model of speed profiles for traffic calmed roads. *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, 34(2), pp.103-123.
- Bjarnason, S., (2004). Round top and flat top humps – the influence of design of the Effects. Thesis 125, *Department of Technology and Society*, Lund Institute of Technology, Lund, Sweden.
- Cottrell, W.D., Kim, N., Martin, P.T. and Perrin, H.J. (2006). Effectiveness of traffic management in Salt Lake City, Utah. *Journal of Safety Research*, 37(1), pp.27-41.
- Hakan Lav, Ertugrul Bilgin, A. Hilmi Lav. (2017). A fundamental experimental approach for optimal design of speed bumps. *Accident Analysis and Prevention*. Article In Press
- Moreno, A.T. and García, A. (2013). Use of speed profile as surrogate measure: Effect of traffic calming devices on crosstown road safety performance, *Accident Analysis & Prevention*, 61, pp.23-32.
- Moreno, A., García, A. and Romero, M.2011. Speed table evaluation and speed modeling for low-volume crosstown roads, *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*, pp.85-93.
- Talaat Ali Abdel-Wahed, Ibrahim Hassan Hashim. (2017). Effect of speed hump characteristics on pavement condition. *Journal of traffic and transportation engineering* (English edition). Article In Press.
- Victoria Gitelman, Roby Carmel, Fany Pesahov, Sarit Chen. (2016). Changes in road-user behaviors following the installation of raised pedestrian crosswalks combined with preceding speed humps, on urban arterials. *Transportation Research Part F. Article In Press*.
- Apichan Kanjanavapastit, Aphirak Thitinaruemit. (2013). Estimation of a Speed Hump Profile Using Quarter Car Model, *Procedia - Social and Behavioral Sciences*, Volume 88, Pages 265-273.