فصلنامه علمی راهور
۴۵
فصلنامه علمی راهور
سال هشتم-شماره ۲۹
تابستان ۱۳۹۸
علمی-پژوهشی

مدل برآورد سرعت وسایل نقلیه در اثر سرعت‌کاه‌ها

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 استفادهٔ فراوان از سرعت‌گیر و سرعت‌کاه‌ها به‌عنوان ابزارهای آرام‌سازی در راه‌های کشور خصوصاً در استان‌های شمالی (به‌علت دسترسی‌های زیاد، تداخل نقش‌های اجتماعی و جابه‌جایی راه و تفاوت زیاد سرعت وسایل نقلیه با سرعت مجاز تعیین‌شده)، در این پژوهش، بررسی اثربخشی این اقدامات در کاهش سرعت مدنظر قرار گرفته است. این مطالعه به تعیین ارتباط بین مشخصات هندسی سرعت‌کاه‌ها و سرعت وسایل نقلیه در ۹۰ سرعت‌کاه نصب‌شده در نواحی مختلف از راه‌های واقع در شرق استان مازندران پرداخته است. ازآنجایی‌که نمونهٔ موردبررسی شامل انواع سرعت‌کاه‌ها اعم از قوسی و تخت بود و در راه‌هایی با رده‌های مختلف عملکردی اجرا شد، برای بررسی بهتر، سرعت‌کاه‌ها دسته‌بندی شدند و به‌طور جداگانه مشخصات هندسی هرکدام مشخص و سرعت وسایل نقلیه در پیرامونشان برداشت شد. سرعت وسایل نقلیه در چند نقطه قبل، رو و بعد از سرعت‌کاه با استفاده از دوربین سرعت‌سنج ثبت شد و ابعاد هریک از سرعت‌کاه‌ها با استفاده از دوربین توتال استیشن به‌صورت دقیق برداشت شد. درنهایت با استفاده از مدل رگرسیون خطی، داده‌ها در نرم‌افزار SPSS موردارزیابی قرار گرفته و عوامل اصلی تأثیرگذار روی کاهش سرعت وسایل نقلیه به‌همراه مدل رگرسیونی برآورد کاهش آن ارائه گردید. با توجه به اینکه تعداد سرعت‌کاه‌های موردمطالعه زیاد بوده است، نتایج این پژوهش نشان داد که برای طراحی و اجرای سرعت‌کاه‌ها در سرعت‌های عبور و سرعت‌های هدف مختلف می‌توان از این مدل‌ها استفاده نمود تا اثربخشی سرعت‌کاه‌ها در کاهش سرعت و پروفیل سرعت در فاصله‌های مختلف از سرعت‌کاه‌ها را با سطح اطمینان بالایی موردارزیابی قرار داد.

کلیدواژه‌ها: آرام‌سازی فیزیکی ترافیک، سرعت‌کاه، مدل‌سازی سرعت، رگرسیون چندگانهٔ خطی.

---

۱. استادیار گروه عمران، دانشگاه صنعتی نوشیروانی،بابل، (نویسنده مسئول)، haghighi@nit.ac.ir
2.zadkhori@gmail.com

www.SID.ir

مقدمه

امروزه سرعت غیرمجاز به‌عنوان عامل اصلی اشتباهات انسانی در به‌وجودآوردن 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[1] ازجمله 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 دستهٔ 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. ازآنجایی‌که 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 موردتوجه می‌باشد. علاوه‌براین، شناسایی میزان تأثیر این نوع از اقدامات روی کاهش سرعت‌ها، مکان‌یابی بهینهٔ آن‌ها، فواصل بین آن‌ها و تعیین ابعاد آن‌ها (ارتفاع، طول و عرض) از اهداف این مطالعه بوده است؛ لذا این مطالعه در گام اول به‌دنبال 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

www.SID.ir

پیشینهٔ پژوهش

پژوهشگران متعددی به مطالعه و بررسی تأثیر مؤلفه‌های مختلفی از ابزارهـای آرام‌سـاز ترافیک روی سرعت وسایل نقلیه پرداخته‌اند که استفاده از اقدامات فیزیکـی بـه‌عنـوان یک راهکار مؤثر در این زمینه در پژوهش‌های متعددی موردبررسی قرار گرفته اسـت. رحیمی و عباسی در سال ۱۳۹۲ به ارزیـابی تـأثیر ابزارهـای کاهنـدهٔ سـرعت و ارائـهٔ راه‌حل‌هایی برای رفع مشکلات ایـن ابزارهـای کنتـرل سـرعت در کشـور بـر اسـاس تجربیات جهانی پرداخته‌اند. رحمانی رضائیه در سال ۱۳۹۱ به طراحی و ساخت یـک سیستم کنترل سرعت هوشمند (سرعت‌گیر هوشـمند) پرداختـه اسـت کـه در آن، بـه بررسی مزایای سرعت‌گیرها و نقش آن در کاهش تعـداد و شـدت تصـادفات در بـین وسایل نقلیه پرداخته است؛ معایب ذکرشده در این مطالعـه شـامل آسـیب‌رسـاندن بـه سیستم تعلیق خودرو، آسیب‌رساندن به جان سرنشینان وسـایل نقلیـه و مصـرف زیـاد بنزین بود که رفع این معایب توسط هوشمندکردن سرعت‌گیرها موردنظر بـوده اسـت. درنهایت 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؛ ازجملـه: کاهش مصرف بنزین، جلوگیری از آسیب‌رسیدن به سیستم تعلیق خودروها، جلوگیری از واردشدن تأثیرات منفی برای دوچرخه‌سواران، موتورسواران و همین‌طور سرنشـینان آمبولانس، جلوگیری از آسیب‌رسیدن به سیستم کلاچ و ترمز، روان‌سازی و ایمن‌سازی عبـورومرور، کـاهش تصـادفات و پرونـده‌هـای قضـایی تصـادفات و جلـوگیری از صدمه‌رسیدن به عابران پیاده.

هاکان و همکارانش (۲۰۱۷) پژوهشی را به‌منظور تعیین ابعاد بهینـهٔ سـرعت‌گیـر در یکی از خیابان‌های شهر استانبول انجام دادند. در این پـژوهش بـر اسـاس عبـور یـک خودرو طرح و با بهره‌گیری از نیروهای اصطکاکی، نیروی غلتشـی و میـزان چـرخش چرخ‌ها در زمان قبل و در زمان برخورد با سرعت‌گیر میزان نیروهای به‌وجودآمده بـین خودرو و سرعت‌گیر محاسبه شد. در گام بعدی، مانعی با ابعاد بزرگ‌تر در مسیر اجـرا

www.SID.ir

شد و این کار چند بار دیگر با ابعاد مختلف اجرا گردید. درنهایت با محاسبهٔ سرعت خودرو، ابعادی که به حداکثر کاهش سرعت در مسیر موردنظر منجر شد، به‌عنوان ابعاد مناسب مانع معرفی گردید. عبدالواحد و هشیم (۲۰۱۷) مطالعه‌ای دربارهٔ تأثیرگذاری سرعت‌کاه‌ها روی میزان سرعت وسایل نقلیه و میزان وضعیت روسازی در دو شهر تاحتا و جرجا در کشور مصر انجام دادند. با مطالعهٔ سرعت در نزدیکی سرعت‌کاه‌های موجود در این شهر، مشخص شد که تا حدی سبب کاهش سرعت وسایل نقلیه به‌صورت کوتاه‌مدت می‌شوند. از طرفی، با محاسبهٔ میزان کاهش سرعت و افزایش سرعت‌ها با استفاده از سیستم GPS، تأثیر ابعاد سرعت‌کاه روی میزان خرابی‌های روسازی در مسیر موردارزیابی 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 به‌وجودآمدن خرابی‌ها به‌دلیل 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 موردبررسی قرار دادند. در این پژوهش، ۸ ایستگاه گذرگاه عابران پیاده به‌عنوان مسیرهای موردمطالعه در نظر گرفته شد. میزان سرعت وسایل نقلیهٔ عبوری از این مسیرها اندازه‌گیری شد و در گام بعدی محل گذرگاه عابران، گذرگاه برجستهٔ عبور اجرا شد. مطالعات سرعت پس از اجرای گذرگاه نیز در مسیرهای مطالعاتی مورداندازه‌گیری قرار گرفت و با مقایسهٔ 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 نقلیهٔ عبوری از مسیر در حالت قبل می‌شود. از سوی دیگر، میزان تأثیرگذاری احتمالی اجرای سرعت‌کاه ذوزنقه‌ای و دایره‌ای بر کاهش سرعت بیشتر وسایل نقلیه موردبررسی قرار گرفت. به همین منظور، دو سناریوی متفاوت شامل سرعت‌کاه ذوزنقه‌ای و دایره‌ای با

www.SID.ir

ارتفاع‌های ۸ و ۱۲ سانتی‌متر بررسی شدند که تأثیر اجرای توأمان سرعت‌کاه‌ها بر کاهش سرعت وسایل نقلیه، مؤثر شناخته شد و درنهایت اجرای گذرگاه برجستهٔ عابران 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 وسیلهٔ نقلیه بر روی سرعت‌گیر، پروفیل مناسب با توجه به سرعت حد تقاضا در شرایط مختلف نیز موردبررسی 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 نقطهٔ قبل، بعد و روی سرعت‌گیرها و در زمان‌های قبل از نصب، یک روز و یک ماه پس از نصب صورت گرفت. نتایج، کاهش قابل‌ملاحظهٔ 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 موردبررسی 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 آرام سازی ترافیک، با

www.SID.ir

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

مورنو و همکارانش در سال ۲۰۱۱ میلادی به بررسی اثر سرعت‌کاه تخت 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 فاصلهٔ ابزار آرام‌سازی بستگی دارد و مشخصات هندسی سرعت‌کاه تخت، تأثیر کمتری بر آن دارد. علاوه براین نشان دادند که سرعت ۸۵ درصد روی سرعت‌کاه تخت به طول و شیب رمپ ورودی سرعت‌کاه و فاصلهٔ آن تا ابزار آرام‌سازی قبلی بستگی دارد. باربوسا و همکارانش در مطالعه‌ای در سال ۲۰۰۰ میلادی، با تعیین سرعت وسایل نقلیه به کمک لوله‌های پنوماتیک نصب‌شده 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 به‌وسیلهٔ 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.

www.SID.ir

جدول ۱. خلاصهٔ پیشینهٔ پژوهش

ردیف	نام نویسنده	عنوان مطلب	سال	نتایج
۱	هاکان و همکاران	تعیین ابعاد بهینهٔ سرعت‌گیر	۲۰۱۷	ابعاد مناسب جهت کاهش سرعت ارائه شد.
۲	عبدالواحد و هشیم	اثر سرعت‌کاه‌ها روی سرعت و روسازی قبل و بعد	۲۰۱۷	ارتباط‌یابی ابعاد سرعت‌کاه و احتمال به‌وجودآمدن خرابی‌ها به‌دلیل 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 برجستهٔ عابران پیاده و نیز اجرای سرعت‌کاه قبل از آن به‌عنوان طرح مناسب
۴	کانجانا و نارومیت	تأثیر پروفیل سرعت‌گیرها بر سرعت وسایل نقلیه	۲۰۱۳	طراحی پروفیل مناسب به‌منظور کاهش تصادفات جاده‌ای
۵	آنتیک و همکارانش	بررسی تأثیر ارتفاع سرعت‌گیر بر کاهش سرعت	۲۰۱۳	باید سرعت‌گیرهای با ارتفاع ۵ و ۷ سانتی‌متر و در مکان‌های کم‌خطرتر، سرعت‌گیرهای با ارتفاع ۳ سانتی‌متر نصب شوند.
۶	مورنو و گارسیا	بررسی اثربخشی اقدامات آرام‌سازی ترافیک در راه‌های عبوری	۲۰۱۲	یکنواختی سرعت در طول مسیر هنگام عبور از ابزارهای آرام‌سازی ترافیک، با متوسط سرعت عملکردی رابطهٔ عکس دارد.
۷	مورنو و همکارانش	بررسی اثر مشخصات هندسی سرعت‌کاه تخت بر رفتار رانندگان	۲۰۱۱	سرعت ۸۵ درصد روی سرعت‌کاه تخت به طول و شیب رمپ ورودی سرعت‌کاه و فاصلهٔ آن تا ابزار آرام‌سازی قبلی بستگی دارد.
۸	باربوسا و همکارانش	به‌دست‌آوردن پروفیل سرعت وسایل نقلیه در بخش‌هایی از راه متأثر از ابزارهای آرام‌سازی	۲۰۰۰	ایجاد یک مدل رگرسیون چندگانه که ۵۵ درصد تغییرات سرعت را توصیف نمود.
۹	رحیمی و عباسی	ارزیابی تأثیر ابزارهای کاهندهٔ سرعت	۱۳۹۲	تعیین مزایا و معایب و نیز قواعد و استانداردهای نصب این ابزارها
۱۰	محمد رحمانی رضائیه	طراحی و ساخت یک سیستم کنترل سرعت هوشمند (سرعت‌گیر هوشمند)	۱۳۹۱	سرعت‌گیر هوشمند می‌تواند ابزار مناسبی در صنعت حمل‌ونقل به‌منظور کنترل سرعت به‌شمار آید.

در مطالعات پیشین، به مدل‌سازی و تعیین عوامل مؤثر بر سرعت روی سرعت‌کاه و یا میزان کاهش سرعت در اثر نصب سرعت‌کاه 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 آرام‌سازی سلسله‌مراتب راه‌ها در نظر گرفته نشده است؛ بنابراین لازم است سرعت‌کاه‌ها از نواحی مختلف موردبررسی قرار گیرند و با توجه به مشخصات محل نصب خود بهینه‌سازی

www.SID.ir

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

روش پژوهش

شناسایی مکان‌ها

محدودهٔ 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، قائم‌شهر و بابل می‌باشد. در این مطالعه، ۹۰ سرعت‌کاه از نواحی داخل شهری با رده‌های عملکردی مختلف و همچنین بزرگراه‌های برون‌شهری واقع در محدودهٔ مطالعاتی درنظرگرفته‌شده انتخاب شدند که از بین آن‌ها، ۶۹ سرعت‌کاه واقع در نواحی داخل شهری و ۲۱ سرعت‌کاه، واقع در نواحی غیرشهری و همچنین ۶۰ مورد از کل سرعت‌کاه‌ها، سرعت‌کاه قوسی و ۳۰ مورد سرعت‌کاه تخت می‌باشند.

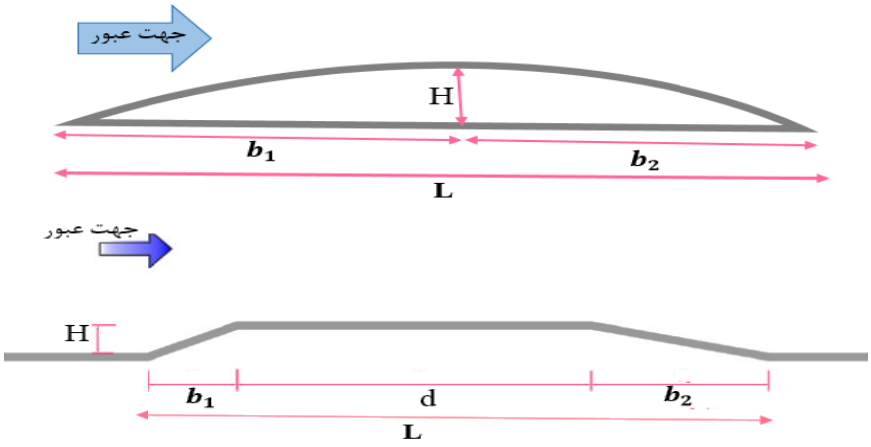
پس از شناسایی سرعت‌کاه‌ها و تعیین مشخصات هندسی مربوط به هر سرعت‌کاه، متغیرهایی برای آن‌ها توسط مطالعات میدانی مشخص شد که شامل ردهٔ عملکردی (شریانی درجهٔ ۱ و ۲ و بزرگراه)، سرعت مجاز (متغیر از ۳۰ تا ۶۰ کیلومتر بر ساعت)، عرض راه (متغیر از ۳/۵ تا ۱۸ متر)، میانه (وجود و عدم وجود میانه) و کاربری اطراف (با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

مؤلفه‌های مشخصات هندسی سرعت‌کاه‌ها

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

www.SID.ir

با عرض راه است (sw)، طول کل سرعت‌کاه در جهت مسیر (L)، طول رمپ اول (b_1)، طول رمپ دوم (b_2)، ارتفاع سرعت‌کاه (H) و طول قسمت مسطح میانی (d)به‌صورت معرفی‌شده در شکل ۲ بوده است. اندازه‌گیری‌ها توسط یک دستگاه دوربین نقشه‌برداری در محل انجام شد.

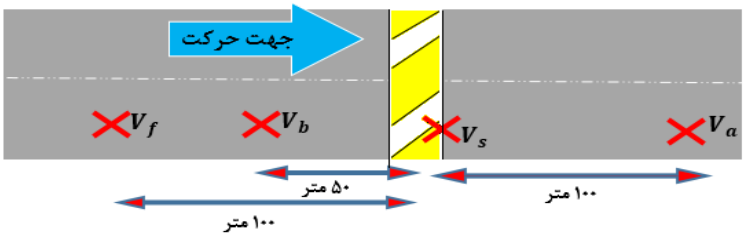


شکل ۱. شکل نمادین مقطع عرضی سرعت‌کاه قوسی و تخت

مشاهدات میدانی

برای تعیین توزیع سرعت وسایل نقلیه در مجاورت سرعت‌کاه‌ها، از اندازه‌گیری سرعت نقطه‌ای با استفاده از یک دوربین سرعت‌سنج دستی لیزری در اطراف هر سرعت‌کاه استفاده شد و ۴ نقطه برای هر سرعت‌کاه تحت عنوان نقاط برداشت سرعت در نظر گرفته شد. اولین نقطه در فاصلهٔ ۱۰۰ متری در بالادست سرعت‌کاه است که سرعت جریان ترافیک در آن نقطه تحت‌تأثیر سرعت‌کاه نصب‌شده نبود (V_f)، دومین نقطه در فاصلهٔ ۵۰ متری قبل از محل نصب سرعت‌کاه (V_b) قرار دارد، نقطهٔ سوم واقع در روی سرعت‌کاه (V_s) می‌باشد که مطابق با مطالعهٔ مورنو و همکارانش در این نقطه، سرعت‌کاه نصب‌شده بیشترین تأثیر را بر سرعت وسیلهٔ نقلیه دارد و نقطهٔ چهارم در ۱۰۰ متر بعد از محل نصب سرعت‌کاه (V_a) می‌باشد. شکل ۲، موقعیت نقاط اندازه‌گیری سرعت وسایل نقلیه را در اطراف سرعت‌کاه به‌طور نمادین نشان می‌دهد.

www.SID.ir



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

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

ازآنجایی‌که بررسی سرعت نقطه‌ای باید در شرایط جریان آزاد انجام گیرد تا برداشت‌ها تحت‌تأثیر حجم و تراکم نباشند؛ بنابراین اندازه‌گیری سرعت در شرایطی انجام شد که حجم ترافیک بیش از ۵۰۰ وسیلهٔ نقلیه بر ساعت نباشد که مطابق با سرفاصلهٔ زمانی بیش از ۷ ثانیه می‌باشد. به‌منظور اینکه سرعت‌های اندازه‌گیری‌شده نمایانگر شرایط واقعی جریان ترافیک باشند، می بایست تجهیزات اندازه گیری سرعت از دید رانندگان پنهان شود؛ به‌طوری‌که 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.

www.SID.ir

روش تحلیل

به‌منظور بررسی عملکرد رانندگان در برابر سرعت‌کاه‌ها و تعیین میزان اثربخشی این ابزارهای آرام‌سازی ترافیک در کاهش سرعت، در ابتدا به تحلیل و مقایسهٔ داده‌های سرعت به کمک نرم‌افزار Spss پرداخته شد. به‌این‌ترتیب که ابتدا نرمال‌بودن توزیع داده‌های سرعت برای تمامی سرعت‌کاه‌ها، با محاسبهٔ عدد مربوط به چولگی و کشیدگی و همچنین آزمون‌های کلموگروف – اسمیرنوف و شاپیرو ویلک موردبررسی قرار گرفت. برای بررسی میزان اثربخشی سرعت‌کاه‌ها در کاهش سرعت، به مقایسهٔ میانگین سرعت وسایل نقلیه در دو نقطهٔ ۱۰۰ متر قبل از محل نصب سرعت‌کاه (V_f، نقطه‌ای که سرعت وسایل نقلیه تحت‌تأثیر سرعت‌کاه نمی‌باشد) و روی سرعت‌کاه (V_s، نقطه‌ای که سرعت‌کاه نصب‌شده، بیشترین تأثیر را روی سرعت وسایل نقلیه دارد)، پرداخته شد و با استفاده از آزمون t، معناداری اختلاف بین میانگین سرعت‌های اندازه‌گیری‌شده در دو نقطه برای هر سرعت‌کاه بررسی شد.

به‌منظور بررسی تعیین عوامل تأثیرگذار بر سرعت وسایل نقلیه روی سرعت‌کاه‌ها و میزان کاهش سرعت ایجادشده در اثر نصب سرعت‌کاه و به‌دنبال آن، تعیین ارتباط بین ابعاد هندسی سرعت‌کاه و میزان کاهش سرعت در اثر نصب سرعت‌کاه، از مدل‌سازی رگرسیون خطی چندگانه استفاده شد.

آزمون‌های آماری

نرمال‌بودن داده‌ها

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

www.SID.ir

آزمون t

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

جدول ۲. خلاصه‌ای از تحلیل آماری داده‌های سرعت، برای مقایسهٔ میانگین سرعت در نقطهٔ قبل و روی سرعت‌کاه

نام دسته		حداقل	حداکثر	میانگین	انحراف معیار
دستهٔ ۱ (سرعت‌کاه قوسی، شهری)	سرعت قبل از نصب (V_f،کیلومتر بر ساعت)	۲۴/۴۰	۵۴/۶۹	۶۸/۵۶	۹/۸
	سرعت روی سرعت‌کاه (V_s،کیلومتر بر ساعت)	۲۹/۲۹	۸۲/۵۳	۵۱/۳۹	۶۱/۶
	اختلاف معنادار میانگین سرعت در دو نقطه (کیلومتر بر ساعت)	۸۱/۸	۸/۲۵	۱۶/۱۷	۸۵/۴
	درصد کاهش سرعت در اثر نصب سرعت‌کاه نسبت به سرعت قبل از نصب (Re)	٪۱۷	٪۴۳	٪۳۰	٪۵
دستهٔ ۲ (سرعت‌کاه قوسی غیرشهری)	سرعت قبل از نصب (V_f،کیلومتر بر ساعت)	۳۹/۶۹	۶۶/۷۹	۵۹/۷۵	۱۲/۴
	سرعت روی سرعت‌کاه (V_s،کیلومتر بر ساعت)	۳/۴۷	۵۹	۶۸/۵۴	۸۴/۴
	اختلاف معنادار میانگین سرعت در دو نقطه (کیلومتر بر ساعت)	۳۲/۱۵	۵۹/۲۶	۹۱/۲۰	۴۶/۳
	درصد کاهش سرعت در اثر نصب سرعت‌کاه نسبت به سرعت قبل از نصب (Re)	٪۲۱	٪۳۶	٪۲۷	٪۴/۵
دستهٔ ۳ (سرعت‌کاه تخت)	سرعت قبل از نصب (V_f، کیلومتر بر ساعت)	۹۷/۴۵	۱۱/۷۰	۵۱/۶۰	۵۶/۸
	سرعت روی سرعت‌کاه (V_s، کیلومتر بر ساعت)	۴۷/۳۰	۱۴/۵۴	۵۴/۴۳	۴/۷
	اختلاف معنادار میانگین سرعت در دو نقطه (کیلومتر بر ساعت)	۶۴/۱۳	۲۶/۲۰	۷۹/۱۶	۹۴/۱
	درصد کاهش سرعت در اثر نصب سرعت‌کاه نسبت به سرعت قبل از نصب (Re)	٪۲۲	٪۳۵	٪۲۸	٪۲/۹

www.SID.ir

یادآوری می‌شود که در جدول ۲، ۰منظور از درصد کاهش سرعت در اثر نصب سرعت‌کاه نسبت به سرعت در نقطهٔ 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 وسیلهٔ 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 همهٔ 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 نقطهٔ قبل از نصب (Re) می‌باشد.

مدل رگرسیون مربوط به دستهٔ سرعت‌کاه قوسی، شهری

دستهٔ 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 کمّی - کمّی و یا کمّی - 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 ($Scalm$) به‌دلیل 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 نتیجتاً برای مدل‌سازی میزان کاهش سرعت در اثر نصب سرعت‌کاه نسبت به سرعت قبل از نصب نیز انتخاب شدند. نتایج نهایی

www.SID.ir

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

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

نماد متغیر	متغیر	ضرایب استانداردنشده (B)	ضرایب استانداردشده (Beta)	آماءه t	سطح معناداری	رواداری	عامل تورم واریانس
constant	مقدار ثابت	۷۱۰/۷		۱۰۱/۲	۰۴۳/۰		
	سرعت قبل نصب سرعت‌کاه	۵۶۹/۰	۷۷۱/۰	۱۴۸/۹	۰۰۰/۰	۸۹۳/۰	۱۱۹/۱
	ارتفاع سرعت‌کاه	-۵۲/۷۶۲	-۰/۲۷۵	-۲/۷۸۹	۰۰۹/۰	۶۵۲/۰	۵۳۵/۱
	طول رمپ اول	۲۵۶/۱	۳۰۵/۰	۹۶۶/۲	۰۰۵/۰	۵۹۸/۰	۶۷۱/۱

جدول ۴. خلاصهٔ مدل نهایی V_{s1}

ضریب هم‌بستگی چندگانه (R)	ضریب تعیین (R^2)	ضریب تعیین تعدیل‌شده	خطای معیار تخمین	آمارهٔ دوربین 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	درجهٔ آزادی	میانگین مربعات	آمارهٔ F	سطح معناداری
رگرسیون	۲۷۶/۱۲۷۰	۳	۴۲۵/۴۲۳	۲۴۷/۴۱	۰۰۰/۰
باقی‌مانده	۰۲۷/۳۴۹	۳۴	۲۶۶/۱۰		
کل	۳۰۴/۱۶۱۹	۳۷			

برای تعیین ضرایب مدل نهایی، بر اساس مقادیر ستون ضرایب استانداردنشده 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 مقایسهٔ تأثیر متغیرها، ستون ضرایب استانداردشدهٔ بتا (بدون توجه به علامت آن) به کار برده می‌شود؛ که این ضریب نشان‌دهندهٔ میزان تغییر متغیر وابسته به‌ازای تغییری به‌اندازهٔ یک انحراف معیار در متغیر مستقل می‌باشد. بنابراین مدل نهایی به‌دست‌آمده برای سرعت روی سرعت‌کاه مربوط به دستهٔ ۱ (سرعت‌کاه‌های قوسی شهری) مطابق رابطهٔ ۱ می‌باشد.

$$V_{s1} = 7.71 + 0.569 * V_f - 52.762 * H + 1.256 * b_1 \quad (۱)$$

www.SID.ir

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

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

R (۲)

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

مدل رگرسیون مربوط به دستهٔ ۲ تا ۴

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

جدول ۶. مشخصات مدل سرعت‌کاه‌های دستهٔ ۲ تا ۴

سرعت‌کاه دسته	نوع سرعت‌کاه	مدل سرعت روی سرعت‌کاه	ضریب تعیین در سطح اطمینان ٪۹۵	مدل میزان کاهش سرعت	ضریب تعیین در سطح اطمینان ٪۹۵
۲	سرعت‌کاه‌های قوسی (شهری و غیرشهری)	$V_{s2} = 7.447 + 0.604 * V_f - 47.397 * H + 1.005 * b_1 - 1.842 * Scalm$	٪۸۸	$Re_2 = 0.216 + 0.646 * H - 0.012 * b_1 + 0.007 * \mathrm{RW} + 0.021 * \mathrm{Scalm}$	٪۳۰
۳	سرعت‌کاه‌های تخت	$V_{s3} = -2.448 + 0.77 * V_f - 41.273 * H + 1.017 * \mathrm{b_1}$	٪۸۹	$Re_3 = 0.272 + 0.822 * H - 0.021 * b_1$	٪۷۳
۴	سرعت‌کاه‌های متوالی با فاصلهٔ ۱۵۰ متر و کمتر	–	–	$\boldsymbol{Re_4 = 0.014 + 0.107 * Pos + 0.001 * \mathrm{Dis} + 0.032 * \mathrm{use}}$	٪۷۰

www.SID.ir

قابل‌ذکر است که دستهٔ ۴ مربوط به سرعت‌کاه‌هایی با فاصلهٔ کمتر از ۱۵۰ متر می‌باشد که به‌صورت گروه‌های دوتایی موردبررسی قرار گرفته‌اند؛ بنابراین بررسی سرعت وسایل نقلیه روی سرعت‌کاه‌ها در هر سرعت‌کاه به‌صورت منفرد فاقد معنی می‌باشد و نسبت کاهش سرعت (Re)، درک درست‌تری از تأثیرگذاری این گروه‌ها به دست می‌دهد؛ بنابراین برای این دسته، تنها به ارائهٔ مدل برای Re بسنده شده است.

تفسیر مدل‌های ساخته‌شده و بحث

نتایج حاصل از مدل‌سازی رگرسیون چندگانهٔ سرعت روی سرعت‌کاه (V_s)، مربوط به هر سه دستهٔ ۱، ۲ و ۳ نشان داد که متغیرهای سرعت وسیلهٔ نقلیه در نقطهٔ آزاد از تأثیر سرعت‌کاه، ارتفاع و طول رمپ اول سرعت‌کاه به‌خوبی می‌توانند تغییرات سرعت روی سرعت‌کاه را توصیف کنند؛ به این صورت که با افزایش میانگین سرعت در نقطهٔ آزاد از تأثیر سرعت‌کاه، سرعت میانگین روی سرعت‌کاه افزایش می‌یابد. درواقع 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 اول سرعت‌کاه به این‌صورت است که با افزایش ارتفاع و کاهش طول رمپ اول، سرعت روی سرعت‌کاه کمتری حاصل می‌شود. درواقع می‌توان گفت با افزایش ارتفاع و کاهش طول رمپ اول، شیب رمپ ورودی سرعت‌کاه افزایش می‌یابد و با افزایش شیب رمپ، به‌دلیل افزایش شتاب قائم وارده، ناراحتی ایجادشده هنگام عبور از سرعت‌کاه افزایش می‌یابد؛ درنتیجه، رانندگان برای عبور راحت‌تر از سرعت‌کاه، سرعت روی سرعت‌کاه کمتری را انتخاب می‌کنند؛ اثر ارتفاع سرعت‌کاه بر میزان کاهش سرعت، مطابق نتیجهٔ مطالعهٔ آنتیک و همکارانش می‌باشد که با انجام یک مطالعهٔ قبل -بعد مشاهده شد که با افزایش ارتفاع سرعت‌گیر، میزان کاهش سرعت، افزایش می‌یابد (نتیجهٔ اول: افزایش ارتفاع و کاهش طول رمپ اول سرعت‌کاه در کاهش سرعت انواع سرعت‌کاه‌ها مؤثر است).

www.SID.ir

در مدل‌سازی مربوط به دستهٔ ۲ یعنی کل سرعت‌کاه‌های قوسی (شهری و غیرشهری)، علاوه‌بر این سه متغیر ذکرشده، حضور ابزار آرام‌سازی تکمیلی نیز یک متغیر تأثیرگذار در توصیف تغییرات سرعت روی سرعت‌کاه محسوب شد. درصورتی‌که 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. (نتیجهٔ 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 مطالعهٔ 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. مطالعهٔ 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. به‌این‌صورت 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 وسیلهٔ نقلیه می‌شود منجر و با افزایش شیب رمپ

www.SID.ir

ورودی، سرعت روی سرعت‌کاه کاهش می‌یابد؛ علاوه‌براین به طول کل سرعت‌کاه هم بستگی دارد که آن‌هم به شیب رمپ مربوط می‌شود درنتیجه 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 دستهٔ ۱ (Re_1) علاوه بر این دو متغیر، عرض راه، حضور ابزار آرام‌سازی تکمیلی و کاربری اطراف و در مدل ایجادشده برای دستهٔ 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 درنتیجه 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 دستهٔ ۱ و ۲) می‌شود؛ درواقع مقداری از کاهش سرعت مشاهده‌شده به‌علت حضور دیگر ابزار آرام‌سازی در اطراف سرعت‌کاه می‌باشد (نتیجهٔ سوم: در راه‌های با عرض بیشتر، اثرات سرعت‌کاه در کاهش سرعت

www.SID.ir

بیشتر است).

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

نتایج و پیشنهادها

با مشاهدات میدانی رفتار رانندگانی که به سرعت‌گاه 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 فاصلهٔ کمی تا قبل از محل نصب سرعت‌گاه انجام می‌گیرد. پس می‌توان نتیجه گرفت که این اقدامات، سرعت را به‌صورت مقطعی کاهش

www.SID.ir

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

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

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

www.SID.ir

مطلوب برای عبور از سرعت‌کاه نزدیک شود.

با مقایسهٔ میانگین سرعت وسیلهٔ نقلیه روی سرعت‌کاه و سرعت مجاز یافت شد که در درصد کمی از سرعت‌کاه‌ها، کاهش سرعت به‌اندازهٔ سرعت مجاز نبوده است و از کل ۹۰ سرعت‌کاه، ۸۰ درصد از سرعت‌کاه‌ها توانستند سرعت میانگین را به‌اندازهٔ سرعت مجاز کاهش دهند.

نتایج حاصل از مدل‌سازی رگرسیون چندگانهٔ سرعت روی سرعت‌کاه مربوط به هر سه دستهٔ سرعت‌کاه‌های قوسی شهری و کل سرعت‌کاه‌های قوسی و سرعت‌کاه تخت نشان داد که متغیرهای سرعت وسیلهٔ نقلیه در نقطهٔ آزاد از تأثیر سرعت‌کاه، ارتفاع و طول رمپ ورودی سرعت‌کاه، به‌خوبی می‌توانند تغییرات سرعت روی سرعت‌کاه را توصیف کنند. به‌این‌صورت که با افزایش میانگین سرعت در نقطهٔ آزاد از تأثیر سرعت‌کاه، سرعت میانگین روی سرعت‌کاه افزایش می‌یابد. درواقع 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 این‌صورت است که با افزایش ارتفاع و کاهش طول رمپ ورودی، سرعت روی سرعت‌کاه کمتری حاصل می‌شود. درواقع می‌توان گفت با افزایش ارتفاع و کاهش طول رمپ ورودی، شیب رمپ ورودی سرعت‌کاه افزایش می‌یابد و با افزایش شیب رمپ، به‌دلیل افزایش شتاب قائم وارده، ناراحتی ایجادشده هنگام عبور از سرعت‌کاه افزایش می‌یابد. درنتیجه رانندگان برای عبور راحت‌تر از سرعت‌کاه، با سرعت کمتری از روی سرعت‌کاه عبور می‌کنند.

در مدل‌سازی مربوط به کل سرعت‌کاه‌های قوسی (شهری و غیرشهری)، علاوه‌بر این سه متغیر ذکرشده، حضور ابزار آرام‌سازی تکمیلی به‌عنوان یک متغیر تأثیرگذار در توصیف تغییرات سرعت روی سرعت‌کاه محسوب شده است. درصورتی‌که 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

www.SID.ir

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. درنتیجه با توجه به تأثیرگذاربودن این متغیر در تعیین سرعت روی سرعت‌کاه به‌منظور 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 وسیلهٔ 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. به‌این‌صورت که با افزایش ارتفاع و کاهش طول رمپ ورودی سرعت‌کاه، میزان کاهش سرعت بیشتری نتیجه خواهد شد. در دستهٔ سرعت‌کاه قوسی شهری، علاوه بر این دو متغیر، عرض راه، حضور ابزار آرام‌سازی تکمیلی و کاربری اطراف (حضور عابر پیاده) و در دستهٔ 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 به‌صورت حضور عابر پیاده تعریف شده است که افزایش مقدار آن معادل کاربری با حضور عابر پیادهٔ 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،

www.SID.ir

سرعت در حالت آزاد از تأثیر سرعت‌گاه کمتر و نزدیک‌تر به سرعت مطلوب رانندگان برای عبور از سرعت‌گاه است (به‌علت مشخصات محیطی) و درنتیجه میزان کاهش کمتری در اثر نصب سرعت‌گاه اتفاق می‌افتد. تأثیر متغیر عرض راه در میزان کاهش سرعت در اثر نصب سرعت‌گاه 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 سرعت‌گاه 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 سرعت‌گاه موجب افزایش میزان کاهش سرعت در اثر نصب سرعت‌گاه می‌شود. درواقع مقداری از کاهش سرعت مشاهده‌شده به‌علت حضور دیگر ابزار آرام‌سازی در اطراف سرعت‌گاه می‌باشد.

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

منابع

- رحمانی رضاییه، محمد. (۱۳۹۱). طراحی و ساخت یک سیستم کنترل سرعت هوشمند (سرعت‌گیر هوشمند). *یازدهمین 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.

www.SID.ir

–Alavi, S.H,. (2007). Analyzing raised crosswalks dimensions influence on speed reduction in urban streets, *In: Proceedings of the 3rdUrban Street Symposium*, Seattle, USA.

–Antić, B., Pešić, D., Vujanić, 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*.

–ApichanKanjanavapastit, AphirakThitinaruemit. (2013). Estimation of a Speed Hump Profile Using Quarter Car Model, *Procedia - Social and Behavioral Sciences*, Volume 88, Pages 265-273.

www.SID.ir