ارزیابی تأثیر خط‌کشی در آرام سازی ترافیک با استفاده از دستگاه شبیه‌ساز رانندگی

فرشیدرضا حقیقی (مسئول مکاتبات)، استادیار، دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه صنعتی انوشیروانی بابل، بابل، ایران

علی اکبری، دانش آموخته کارشناسی ارشد، دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه صنعتی انوشیروانی بابل، بابل، ایران

E-mail: haghighi@nit.ac.ir

دریافت:۱۳۹۳/۰۳/۲۰ پذیرش:۱۳۹۳/۱۲/۰۵

چکیده:

با توجه به اهمیّت سرعت بالا در تصادفات جاده ای، این پژوهش به دنبال ارزیابی تاثیر خط‌کشی سطح راه در آرام سازی ترافیک با استناد به نتایج حاصل از دستگاه شبیه‌ساز رانندگی است. در این پژوهش از ٤٠ شرکت کننده استفاده شده است که اطلاعات یک نفر به‌دلیل نقص فنی دستگاه حذف شده و داده‌های ۳۹ نفر از شرکت کنندگان (شامل ۳۲ مرد و ۷ زن) با میانگین سنی ۲۸ سال و حداقل ۳ سال سابقه رانندگی و بیش از ۵۰۰۰ کیلومتر رانندگی در سال مورد بررسی قرار گرفت. شرکت کنندگان در چهار سناریو شامل خط‌کشی عرضی ممتد، خط‌کشی عرضی محیطی، خط‌کشی دندان اژدهایی و خط‌کشی هاشور حاشیه ای شرکت کرده اند و اطلاعات مربوط به سرعت و جابجایی جانبی رانندگان، پروفیل سرعت و جابجایی جانبی رانندگان در سناریو بدون علائم و هرکدام از سناریوها به صورت مطالعات قبل و بعد، جمع‌آوری و مورد تحلیل و بررسی قرار گرفت. نتایج نشان داد که میانگین سرعت رانندگان در سه سناریوی اول ۱۲ الی ۱۵ کیلومتر بر ساعت کاهش یافته، در حالی که در سناریوی چهارم که شامل خط‌کشی هاشور حاشیه ای بوده است، این کاهش به ۲۱/۹ کیلومتر بر ساعت رسیده است. همچنین جابجایی جانبی رانندگان در سناریوی اول بر خلاف انتظار افزایش داشته و در سناریوی دوم و سوم کاهش زیادی نداشته که نشان می‌دهد این علائم بر جابجایی جانبی رانندگان چندان تأثیرگذار نبوده است. اما در سناریوی چهارم که شامل خط‌کشی هاشور حاشیه ای بوده، به میزان ۱۷/۳ سانتی‌متر کاهش یافته است.

واژه‌های کلیدی: دستگاه شبیه‌ساز رانندگی، آرام سازی ترافیک، جابجایی جانبی، ایمنی

۱. معرفی

تصادفات جاده‌ای یکی از عوامل تأثیرگذار بر مرگ و میر در دنیا به شمار می‌رود و بنا بر گزارش سازمان بهداشت جهانی[1] سالانه حدود یک میلیون و دویست هزار نفر جان خود را در اثر تصادفات جاده‌ای از دست می‌دهند و حدود پنجاه میلیون نفر نیز در اثر این حوادث آسیب می‌بینند [Vahabzadeh, 2008]. در کلیه تصادفات، ٤ عامل اصلی خطای انسانی، عیب وسیله نقلیه، عیب مسیر و راه و عوامل محیطی نقش اساسی دارنـد که سرعت زیاد و غیرمجاز رانندگان به عنوان یکی از خطاهای انسانی موجب رخداد بسیاری از تصادفات است. برخی از پژوهشگران عامل سرعت را در بیش از ۳۷ در صد از تصادفات منجر به مرگ موثر دانسته‌اند [Ruschman, 1981]. در میان انواع روش‌های مدیریت سرعت، آرام‌سازی ترافیک از جمله روش‌های کاربردی است که به صورت گسترده درکشورهای پیشرفته دنیا مورد استفاده قرار می‌گیرد. روش‌های ادراکی آرام‌سازی ترافیک به طور کلی شامل اقدامات و یا اصلاحاتی هستند که هزینه کم و اجرای آسان دارند و با تاثیر بر درک راننده، رفتار او را کنترل می‌کنند و به دلیل تاثیر غیرمستقیم در خودآگاهی حواس رانندگان، این دسته اقدامات به عنوان یک ابزار موفق و با تاثیر طولانی مطرح می‌شوند. در میان اقدامات ادراکی مرتبط با آرام‌سازی ترافیک، خط‌کشی سطح راه موضوع بحث این پژوهش است. همچنین با توجه به مشکلاتی که دیگر اقدامات کنترل سرعت (مانند استفاده نابجا از سرعت‌گیرها و سرعت‌کاه‌ها) دارند این پژوهش سعی دارد تا با طراحی خط‌کشی‌ها و بررسی آنها، تاثیر آن‌ها بر سرعت رانندگان قبل و بعد از خط‌کشی را مورد بررسی قرار دهد. از مزیت های این طرح می‌توان به اجرا و نگهداری آسان، استفاده از مصالح و رنگ کمتر، و مقرون به صرفه بودن، باریک سازی مسیر عبور حرکت وسایل‌نقلیه به صورت بصری و پوشانیده شدن سطح کمتری از راه عبوری وسایل‌نقلیه و جلوگیری از مشکلات بعدی در روزهای بارانی، اشاره کرد؛ البته در مقابل محدودیت‌های عملکرد خط‌کشی ها نیز عبارتنداز: پوشیده شدن خط‌کشی با برف و دیده نشدن آنها، خیس بودن زمین و از دست رفتن و یا کم شدن قابلیت دید خط‌کشی، مقاوم نبودن در مقابل سایش در ترافیک‌های سنگین.

در زمینه آرام‌سازی ترافیک به روش ادراکی مطالعات گسترده ای از دهه ۱۹۸۰ تاکنون به صورت جدی در دنیا صورت پذیرفته است و نتایج مختلفی از بکارگیری این تمهیدات و تاثیر آن‌ها به منظور کاهش سرعت در دنیای واقعی و مجازی به دست آمده است. مطالعه‌ای در مرکز پژوهش تصادفات دانشگاه موناش استرالیا توسط گادلی و همکاران در محیط دستگاه شبیه‌ساز رانندگی[2] بر روی تمهیدات مختلفی در زمینه آرام‌سازی ادراکی ترافیک مانند استفاده از خطوط عرضی پیوسته و محیطی[3] و استفاده از خطوط طولی میانی و کناری به منظور باریک سازی مسیر انجام شد که نتایج، مشخص کرد که خطوط عرضی پیوسته (میله‌ای) به خوبی بر خطوط عرضی محیطی بر کاهش سرعت سفر موثر واقع می‌شوند [Godley, 1999]. در همان سال جیمسون و همکارانش از تمهیدات آرام‌سازی[4] مختلفی در یک راه برون‌شهری استفاده کردند. استفاده از این تمهیدات آرام سازی ترافیک در دو شرایط رویکرد قوس تند و نواحی کوچک برون‌شهری منجر به کاهش سرعت و کاهش واریانس سرعت شده است [Jamson, 1999]. در سال ۲۰۰۲ گادلی و همکاران به ارزیابی اقدامات آرام سازی ترافیک پرداختند که از ٢٤ شرکت کننده در خودرو واقعی و ۲۰ شرکت کننده در دستگاه شبیه ساز رانندگی در دو آزمایش جدا استفاده شده است. در این پژوهش به بررسی نوارهای صداساز[5] قبل از تابلوی ایست در سه نقطه تقاطع، قوس چپگرد و قوس راستگرد پرداخته شد. سه نقطه مشابه نیز در نظر گرفته شد تا با آن مقایسه شود. نتایج نشان داد که سرعت در هر دو آزمایش کاهش یافت. همچنین نویسنده یک ارتباط نزدیک بین سرعت ها در محیط ماشین واقعی و دستگاه شبیه ساز رانندگی به دست آورد [Godley, 2002]. کاتز و راخا در سال ۲۰۰۸ به بررسی تاثیر خط‌کشی‌های عرضی محیطی در رویکرد قوسی که در ورودی یک شیبراهه خروجی آزاد راهی اجرا شده بود، پرداختند [Katz, 2002]؛ با توجه به نتایج به دست آمده خط‌کشی اجرا شده با چیدمان ٤ خط در هر ثانیه موجب کاهش

٤٤ درصدی میانگین سرعت‌ها نسبت به میانگین سرعت‌ها قبل از اجرای این نوع خط‌کشی شد که به میزان ۱۹/۷ کیلومتربرساعت بوده و مقدار این کاهش برای خط‌کشی با چیدمان ۲ خط در هر ثانیه به میزان ۱۳/٦ کیلومتربرساعت به دست آمد. در همان سال کاتز و همکارانش در مرکز پژوهشهای آزاد راه تورنر- فیربانک[٦] با استفاده از دستگاه شبیه ساز رانندگی پایه ثابت[۷] به بررسی اثر خط‌کشی عرضی محیطی[۸] پرداختند و ٤ قوس و ۲ بخش مستقیم در شبیه سازی بررسی شدند و از ٤ الگوی طراحی مختلف برای آرام‌سازی ترافیک استفاده شد. شرکت کنندگان ابتدا مسیر بدون پیشنهادهای آرام سازی ترافیک را رانندگی کرده و سپس همان سناریو شبیه‌سازی شده را با پیشنهادات آرام‌سازی، رانندگی کردند. نتایج نشان داد که این خط‌کشی‌ها در کاهش سرعت موثر بوده و بین علایم تفاوت چندانی وجود نداشت [Katz, 2008]. روسی و همکارانش نیز در همان سال به بررسی مسیر عبوری به منظور تعیین جابجایی جانبی[۹] درچهار نوع تمهیدات خاص آرام‌سازی ترافیک شامل خط وسط رنگ شده، تابلوها، طرح‌های نوارهای صداساز در دو طرف خط میانی و شانه راه پوشیده شده، در قوس قائم پرداختند. نتایج نشان داد که طرح نوارهای صداساز در اطراف میانه راه و همچنین شانه راه پوشیده شده تأثیر بیشتری نسبت به دو حالت دیگر دارند [Rosey, 2008]. علاوه بر آن یان نیز در همان سال یک تقاطع چراغ دار با چندین ویژگی مهم شامل ۸ سناریو در تقاطع برای تعیین اینکه آیا رفتار سرعت در دستگاه شبیه‌ساز رانندگی با آنچه که در تقاطع واقعی رخ می‌دهد مشابه است یا خیر را طراحی کرد؛ نتایج نشان داد که اطلاعات سرعت مشاهده شده از دنیای واقعی و دستگاه شبیه‌ساز برای هر تقاطع مقدار میانگین برابر دارند [Yan, 2008].

در سال ۲۰۰۹ پژوهشی با عنوان استفاده از ادوات آرام‌سازی ترافیک در جوامع کوچک در ایتالیا صورت پذیرفت که هدف این پروژه بررسی تمهیدات آرام‌سازی ترافیک در راه‌های اصلی عبوری از جوامع کوچک در ایتالیا بود [Abate, 2009]؛ در این پژوهش در یکی از دروازه‌های بکار رفته، سرعت میانگین وسایل‌نقلیه ٦۰ کیلومتر بر ساعت بوده که با کاهش ۱۹ درصدی به ٤۸ کیلومتر بر ساعت کاهش یافته که این سرعت پایین‌تر از سرعت مجاز اعلام شده توسط تابلوهای موجود که ۵۰ کیلومتر بر ساعت را نشان می‌دادند، بود. اختلاف انحراف استاندارد توزیع سرعت وسایل نقلیه کم و در حدود ۱۸ درصد به دست آمد، اما سرعت عملی بعد از دروازه‌ها همچنان بیشتر از ۵۰ کیلومتر بر ساعت بوده است. در سال ۲۰۱۰ آبرلت و همکارانش به بررسی همین علائم در دستگاه شبیه‌سازی پایه متحرک[۱۰] با تصاویر سه بعدی و همچنین به بررسی میدانی این ادوات در دنیای واقعی پرداخته اند و نتایج نشان داد که جابجایی جانبی وسایل‌نقلیه در دنیای واقعی و محیط دستگاه شبیه ساز رانندگی تا حدود زیادی مشابه یگدیگر بوده‌اند [Auberletl, 2010]. در همان سال، گالانته و همکارانش به آرام‌سازی ترافیک در ورودی ناحیه شهری ساخته شده در حاشیه راه های برون شهری پرداختند و رفتار رانندگان با اندازه گیری سرعت‌های میانگین مورد بررسی قرار گرفت؛ مقایسه نتایج با دنیای واقعی و اعتبارسنجی نشان داد که در یک باند، سرعت‌ها با سطح اطمینان ۹۵٪، ١٦ الی ۱۷ کیلومتر بر ساعت و در باند مخالف با سطح اطمینان ۹۰٪، ۱۱ کیلومتر بر ساعت کاهش پیدا کرد [Galante, 2010]. در مطالعه دیگری در همان سال مونتلا و همکاران به ارزیابی سرعت، شتاب کاهنده و جابجایی رانندگان در راه‌های برون شهری در برابر تمهیدات آرام‌سازی ترافیک پرداختند. در این مطالعه از ۲۳ شرکت‌کننده استفاده شد و راه دوخطه با عرض خط ۵/۳ متر و ۱/۲۵ متر شانه در نظر گرفته شد که کاهش سرعت ۱۳ الی ۲۳ کیلومتربرساعت از ۲۵۰ متر قبل از تقاطع به دست آمده است [Montella, 2010]. به گونه‌ای همزمان، مولنیو نیز از ۵ علایم کم هزینه آرام سازی ترافیک در راه‌های برون شهری با ترافیک پایین در شهرهای کوچک استفاده کرد. ۳٦ شرکت کننده که هرکدام سه بار رانندگی کردند و در هر کدام از این سه بار رانندگی از ٦ شهر عبور کردند که هر یک علایم آرام سازی ترافیک علاوه بر سناریوی خام را رانندگی کردند. پنج سناریو که با ادوات آرام‌سازی ترافیک ارزان قیمت طراحی شد، نشان داد که در ابتدای نقطه شهری ١٤ کیلومتر بر ساعت و وسط ناحیه شهری ۸ کیلومتر بر ساعت کاهش سرعت

مشاهده شده است.[Molino, 2010] در سال ۲۰۱۱ پژوهشی با عنوان تأثیر خط‌کشی‌های عرضی پیوسته (میله‌ای) سطح راه در ورودی نواحی کوچک بین شهری صورت پذیرفت که در آن میزان تاثیر این علائم در ورودی این نواحی، در یک مسیر دو خطه دو طرفه جدا شده در کاهش سرعت مورد بررسی قرار گرفت [Balde, 2011]؛ تغییرات قابل توجهی در کاهش سرعت میانگین و واریانس سرعت‌ها در انتهای اجرای خط‌کشی در ٤ نقطه مشاهده شد که کاهش سرعت در روزهای وسط هفته و در طول ساعات روز بیشتر بوده و همچنین کاهش سرعت برای وسایل‌نقلیه با دو محور در مقایسه با سایر وسایل‌نقلیه در سه نقطه بیشتر بوده است.

امروزه در علم مهندسی ترافیک و خصوصاً ایمنی، از ابزارهای شبیه‌ساز به منظور کاهش هزینه و افزایش ایمنی استفاده می شود. به طوری که گستره وسیعی از مقالات مرتبط با رفتار رانندگان در سال‌های اخیر کاملاً محدود و مرتبط با شبیه‌سازهای ترافیکی یا مشخصاً شبیه‌سازهای رانندگی است. استفاده از دستگاه‌های شبیه‌ساز رانندگی به منظور پژوهش از دهه ۱۹۵۰ میلادی آغاز شده و در قرن بیست و یکم به بیشترین حد خود رسیده است، به طوری که در حال حاضر به یکی از موضوعات پر طرفدار در علم مهندسی حمل و نقل تبدیل شد. در علم حمل و نقل و ایمنی به منظور کاهش هزینه و همچنین افزایش ایمنی برای انجام مطالعات رفتاری رانندگان استفاده از دستگاه شبیه‌ساز افزایش یافته است. اگرچه هزینه اولیه دستگاه شبیه‌ساز نسبتاً بالاست ولی به‌دلیل هزینه‌های جانبی و بعدی بسیار پایین آن صرفه اقتصادی این دستگاه‌ها قابل توجیه است. علاوه بر آن چون تمامی مراحل انجام مطالعات در آزمایشگاه انجام می‌شود، ایمنی کافی را برای کاربران فراهم می‌آورد و بخصوص در شرایط مربوط به تصادفات حین رانندگی که هیچ آسیبی به کاربران نمی‌رسد. بنابراین مهندسین حمل و نقل برای انجام مطالعات رفتاری رانندگان از دنیای حقیقی به دنیای مجازی و دستگاه‌های شبیه‌ساز رانندگی روی آوردند. روند استفاده از این دستگاه‌های شبیه ساز رانندگی به شدت رو به افزایش بوده و همچنین پیشرفت‌های آن نیز به طور قابل ملاحظه‌ای مشهود است، به طوری که در حال حاضر بسیاری از شرکت‌های بزرگ خودرو سازی دنیا تشکیلات بسیار پیشرفته‌ای در این زمینه فراهم ساخته اند. پژوهش‌های زیادی نیز در این زمینه انجام شد که بسیاری از آنها در سال های اخیر انجام شده‌اند. کاهش سرعت، کاهش جابجایی جانبی از طریق خط‌کشی سطح راه از روش‌های تامین ایمنی و آرام‌سازی جریان ترافیک در راه‌ها، مشخصاً در این پژوهش مدنظر قرار گرفته است؛ طی جستجوهای صورت گرفته، در ایران مطالعاتی در رابطه با میزان اثرگذاری هرکدام از این عوامل کاهش سرعت انجام نشده است، بنابراین ابزار مناسبی برای مقایسه و بررسی تاثیرات هر کدام از این عوامل در آرام سازی ترافیک وجود ندارد و از آنجا که جهت بررسی این موضوع نیاز به انجام مطالعات میدانی است و با توجه به اینکه این امر بسیار زمان بر و هزینه بر است، بنابراین، این پژوهش در پی آن است تا با استفاده از تکنیک های شبیه‌سازی ضمن کاهش هزینه و اتلاف وقت با یک تقریب نسبتاً مناسب، میزان تاثیر هرکدام از این عوامل کاهنده سرعت را بررسی کند. دستگاه شبیه‌سازی که قرار است در این پژوهش استفاده شود، شامل یک اتاقک خودروی پراید با تجهیزات داخلی نسبتاً کامل و سه عدد تلویزیون برای ایجاد تصویر سه بعدی است.

۲. روش شناسی

این پژوهش بر پایه استفاده از دستگاه شبیه ساز رانندگی برای آزمایش و بررسی اقدامات آرام سازی ترافیک و تاثیر آنها بر رفتار رانندگان انجام شده است. در این راستا ابتدا ادوات آرام سازی ترافیک طراحی و سپس سناریو موردنظر برای انجام این آزمایش در دستگاه شبیه ساز رانندگی طراحی شد که توسط تعدادی شرکت کننده منتخب مورد آزمایش قرار گرفته که نتایج در قالب پایگاه داده ها جمع آوری شد.

۲-۱ شرکت کنندگان

در این پژوهش از ٤٠ شرکت کننده با میانگین سنی ۲۸سال شامل ۳۳ مرد و ۷ زن استفاده شد که از این میان داده‌های یکی از

شرکت کنندگان مرد به‌دلیل نواقص موجود در دستگاه شبیه‌ساز حذف شده و داده‌های ۳۲ شرکت کننده مرد و ۷ شرکت کننده زن مورد تحلیل قرار گرفت. میزان تحصیلات شرکت کنندگان از زیر دیپلم شروع و تا مقطع دکتری بوده است. شرایط شغلی متعدد نیز به گونه‌ای رعایت شد که در آنها از معلم ، مهندس، پزشک، استاد دانشگاه، راننده آژانس، راننده کامیون، مغازه دار، آشپز و... وجود داشته است. دقت شد تا همه رانندگان دارای گواهینامه‌ای باشند که حداقل ۳ سال از آن گذشته و هر کدام از آنها بیش از ۵۰۰۰ کیلومتر در سال رانندگی کرده باشند. قبل از آزمایش هیچگونه توضیحی در باره سناریوها و علائم ادراکی موجود در آنها به شرکت کنندگان داده نشده و صرفاً از آنها خواسته شد تا همان گونه که در دنیای واقعی رانندگی می‌کنند در دستگاه شبیه‌ساز نیز رانندگی کنند.

۲-۲ دستگاه شبیه ساز رانندگی

در این پژوهش از دستگاه شبیه‌ساز رانندگی پایه ثابت با کابین خودروی پراید که شامل صندلی، فرمان، گاز، کلاچ و کل داشبورد و همچنین آمپرهای سرعت سنج نیز بوده و از سه تلویزیون LCD برای نمایش تصویر شامل یک تلویزیون ۴۲ اینچ در مقابل برای نمایش تصویر اصلی و دو تلویزیون ۳۲ اینچ برای نمایش تصاویر کناری استفاده شد (شکل۱). مجموعاً ۱۲۰ درجه زاویه دید را برای شرکت کنندگان فراهم آورد. این دستگاه در شهر تبریز و متعلق به شرکت فن افروز تبریز است که برای اهداف آموزشی برای کسانی که نیاز به آموزش رانندگی برای گرفتن گواهینامه دارند، در آموزشگاه‌های رانندگی مورد استفاده قرار می‌گیرد که از فواید آن می‌توان به کاهش آلودگی، صرفه‌جویی در مصرف سوخت و افزایش ایمنی و اعتماد به نفس رانندگان اشاره کرد. علاوه بر این، برخی آموزش‌ها در شرایط خطرناک مثل جاده برفی و یا پیچ‌های تند و عبور ناگهانی عابرین پیاده را که در دنیای واقعی امکان‌پذیر نیست، می‌توان در دستگاه شبیه‌ساز آموزش داد. آینه وسط و آینه‌های بغل اتومبیل برای نشان دادن تصویر پشت سر راننده تعبیه شد. این دستگاه توسط پمپ‌های تعبیه شده به دستگاه شبیه‌ساز پایه متحرک تبدیل می‌شود که حرکت‌های رو به جلو در آن قابل شبیه‌سازی بوده که با شتاب‌گیری یا ترمز، اتومبیل میزان زیادی حرکت می‌کند.

شکل۱. نمای کلی از دستگاه شبیه‌ساز رانندگی شرکت فن افروز تبریز

۲-۳ سناریوهای شبیه‌سازی شده

شرکت کنندگان ابتدا نزدیک به ۵ کیلومتر از مسیر را در قالب ۱۰ دور بدون هیچگونه علائمی رانندگی کرده تا به اندازه کافی با طرز کار دستگاه شبیه ساز آشنا شوند و به کنترل وسیله نقلیه و همچنین کار با فرمان و گاز و کلاچ و ... تسلط کافی پیدا کنند. پس از آن در یازدهمین دور، اولین طرح خط‌کشی در تصویر ظاهر شد. علت این خط‌کشی ها با فواصل کم شونده این است که با کم شدن فاصله بین خطوط، به راننده این احساس دست خواهد داد که سرعت او در حال افزایش بوده، بنابراین تصمیم به کاهش سرعت به صورت ناخودآگاه می‌گیرند. مجموع طول این خط‌کشی‌ها ٤٣٠ متر بوده و به صورت خط‌های عرضی به عرض ۳۰ سانتی‌متر با فواصل کم‌شونده است که از ۷/٦۱ متر شروع و به ۲/۷۵ متر رسید. شرکت کنندگان پس از سپری کردن سناریوی اول، مجدداً سه دور سناریو بدون علائم را طی کردند تا دوباره در شرایط عادی قرار گیرند و آماده رانندگی در سناریوی جدید شوند. بنابراین در دور پانزدهم از سناریوی دوم شامل خط‌کشی نوع عرضی حاشیه‌ای تقریباً شبیه به نوع اول بوده با همان فواصل، اما خطوط به طور کامل عرضی نبوده و فقط به صورت دو قطعه ٤٥ سانتی‌متری در دو سمت هر خط اجرا شد که علت این کار علاوه بر تاثیر حالت اول دارای تاثیر محدود کنندگی نیز هست که با این محدود کنندگی راننده را وادار به حرکت در وسط مسیر می‌کند. عرض خط نیز همانند خط‌کشی نوع اول ۳۰ سانتی‌متر است. در سناریوی سوم از خط‌کشی دندان اژدهایی[11] با فواصل کم شونده ودر سناریوی چهارم نیز از خط‌کشی هاشور حاشیه‌ای[12] استفاده شده است که در شکل (۲) آرایش سناریوها نشان داده شده است.

٤-۲ داده‌های دریافتی

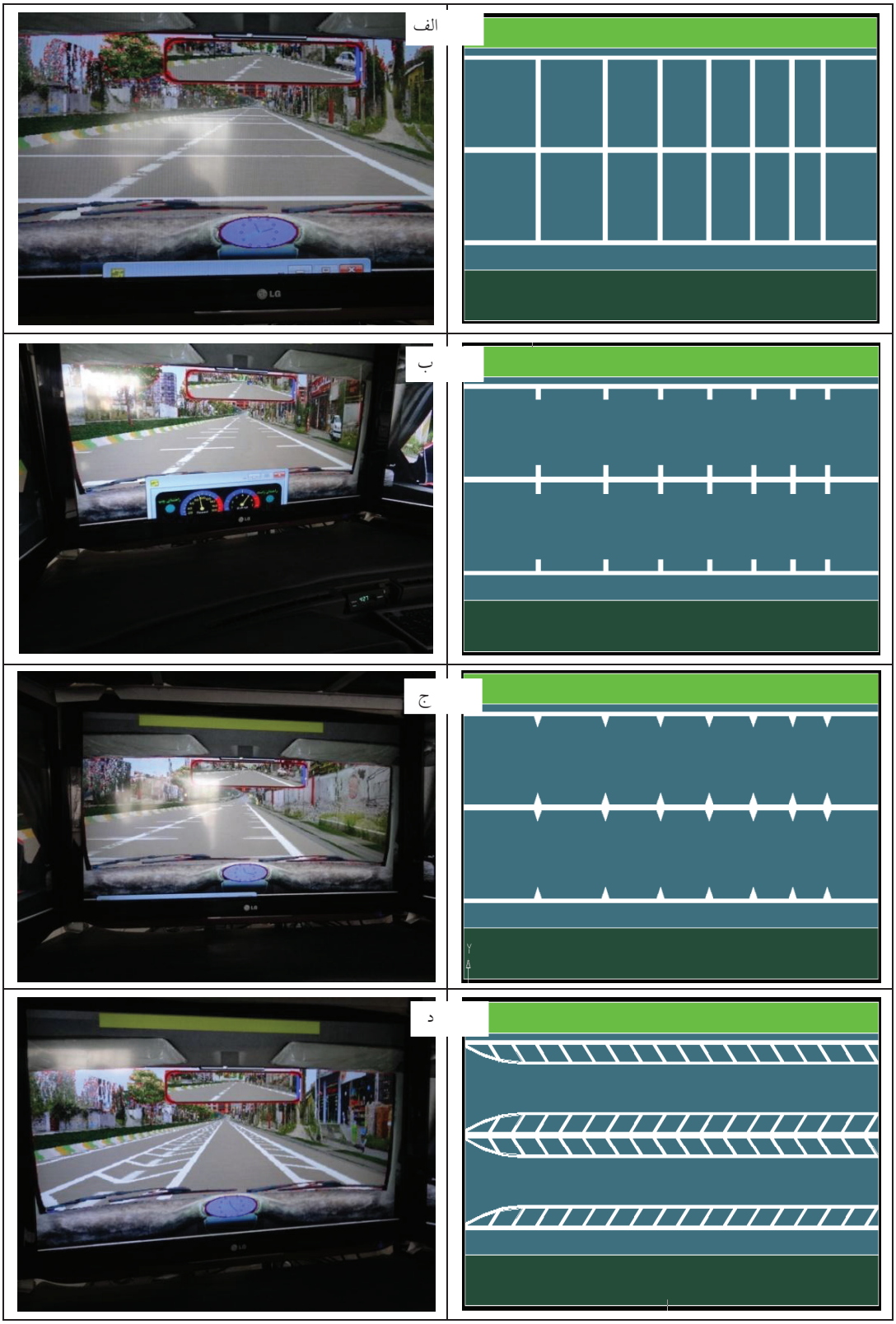
تمامی داده ها به صورت فایل اکسل از خروجی دستگاه دریافت شد که در آن مختصات سه بعدی وسیله نقلیه در بازه زمانی ٦۰ میلی ثانیه نسبت به یک مبدا مختصات در جهان مجازی ارائه شده است. پس از تبدیل اعداد مربوط به مختصات به واحد متریک، سرعت متوسط وسیله نقلیه در هر بازه زمانی نزدیک به ٦۰ میلی‌ثانیه به دست آمده و از آنجا که بازه زمانی بسیار کوچک است، می‌تواند تخمین خوبی از سرعت لحظه‌ای وسیله نقلیه باشد. سپس با رسم نمودار مربوط به طول مسیر و سرعت لحظه‌ای متناظر با آن می‌توان پروفیل سرعت را برای هر سناریو ترسیم کرد. همچنین با استفاده از مختصات عرضی وسیله نقلیه می‌توان جابجایی جانبی را محاسبه و پروفیل آن را ترسیم کرد.

پس از تبدیل خروجی‌های رایانه به مختصات متریک و محاسبه دو پارامتر میانگین سرعت و میانگین جابجایی جانبی هر شرکت‌کننده در همه سناریوها، نتایج با استفاده از نرم افزار SPSS مورد تحلیل قرار گرفت و میانگین، انحراف معیار استاندارد، واریانس، عدد کشیدگی، نمودار توزیع نرمال و نتایج آزمون T به عنوان خروجی این نرم افزار مورد بحث و تحلیل قرار گرفت. همچنین در مطالعات سرعت، از سرعت ۸۵٪ و دو حد بالا و پایین سرعت که از رابطه ۱ به دست آمده است نیز برای بحث و تحلیل استفاده شد. این دو مقداری که برای حد بالا و پایین سرعت به دست آمد، نشان می‌دهد که با یک خطای قابل قبول می‌توان سرعت را در این بازه در نظر گرفت، زیرا سرعت میانگین نمی‌تواند بیانگر سرعت مجموعه باشد و قطعاً سرعت‌های بالاتر و پایین تر نیز وجود دارد. بنابراین مقدار خطا را به میانگین اضافه و از آن کم کرده تا دو مقدار و یک بازه قابل قبول به دست آید. عدد کشیدگی مورد قبول نیز باید در بازه (۲ و -۲) قرار داشته باشد تا نمودارهای توزیع داده‌ها نرمال باشد.

$$\mu = \bar{x} \pm 1/96E \qquad (1)$$

۳. نتایج

به منظور تحلیل و بررسی نتایج از نرم افزار SPSS استفاده شد که پارامترهای آماری شامل میانگین داده‌ها، واریانس، انحراف معیار استاندارد، سرعت ۸۵٪، عدد کشیدگی، نمودارهای آزمون تقریب نرمال و همچنین آماره احتمال در آزمون t و آزمون f به تفکیک مطالعات سرعت/جابجایی جانبی استخراج و مورد استفاده قرار گرفت.



شکل۲. تصویر شبیه‌سازی شده از سناریوهای شبیه‌سازی شده
الف)خط‌کشی عرضی ممتد ب)خط‌کشی عرضی منقطع ج)خط‌کشی دندان اژدهایی د)خط‌کشی هاشور حاشیه ای

۳-۱ مطالعات سرعت

نتایج مطالعات سرعت نشان می‌دهد که عدد کشیدگی مربوط به نمودار توزیع مطالعات قبل و بعد در هر چهار سناریو، برای مطالعات سرعت به اندازه مورد نظر بوده و نمودارهای سرعت دارای توزیع نرمال است. میانگین سرعت همه شرکت کنندگان در مقابل ادوات آرام‌سازی ترافیک در سناریوی اول ۱٤/۸ کیلومتربرساعت کاهش داشته است. براساس بررسی‌های آماری میانگین سرعت وسیله نقلیه برای همه شرکت کنندگان، قبل از اجرای تمهیدات آرام‌سازی ترافیک در سناریوی اول ۸۹/۵ کیلومتربرساعت بوده که پس از اجرای آن به ۷٤/۷ کیلومتربرساعت رسیده است. همچنین سرعت ۸۵٪ از ۱۱۲/۲ کیلومتربرساعت به ۹۸/۹ کیلومتربرساعت رسیده است که به میزان ۱۳/۳ کیلومتربرساعت کاهش یافته است.

سرعت میانگین در سناریوهای دوم، سوم و چهارم به ترتیب ۱٤، ۱۲/۳ و ۲۱/۹ کیلومتربرساعت کاهش پیدا کرد. همچنین سرعت ۸۵٪ در سناریو دوم از ۱۰۷/٤ کیلومتربرساعت به ۹۲ کیلومتربرساعت رسیده است که به میزان ۱۵/٤ کیلومتربرساعت کاهش یافت. در سناریوی سوم از ۱۱۰/۷٤ کیلومتربرساعت به ۸۹/۳۲ کیلومتر بر ساعت رسیده است که به میزان ۲۱/٤۲ کیلومتربرساعت کاهش یافته است و در سناریوی چهارم از ۱۱۰/۸٤ کیلومتربرساعت به ۸۳/٦٤ کیلومتربرساعت رسیده است که به میزان ۲٦/۸۰ کیلومتربرساعت کاهش یافته است. در آزمون T براساس جدول (۱-الف) برای مطالعات سرعت، احتمال رخدادن فرض H0 که برابری میانگین‌های سرعت مطالعات قبل و بعد است در هر چهار سناریو کمتر از ۵٪ به دست آمده است که فرض H0 را رد کرده و نشان می‌دهد میانگین های سرعت در هر چهار سناریو در سطح اطمینان بیش از ۹۵٪ با هم اختلاف دارند. نتایج آزمون تقریب نرمال براساس جدول (۱-ب) برای مطالعات سرعت نشان می‌دهد که این ادوات آرام سازی ترافیک در هر چهار سناریو با سطح اطمینان بالای ۹۵٪ منجر به کاهش سرعت رانندگان شده است. ولی سرعت ٦۰ کیلومتربرساعت در بازه بالا و پایین مورد نظر قرار نداشته، بنابراین کاهش سرعت مورد نظر به دست نیامده است.

با توجه به شکل (۳)، سرعت رانندگان در طول مسیر در همه سناریوها، قبل از اجرای تمهیدات آرام‌سازی ترافیک تغییر چندانی نداشته و نزدیک به ۹۰ کیلومتربرساعت بوده است. البته در ۱۰۰ متر پایانی مسیر روند رو به کاهش گرفته که علت آن وجود قوس افقی آخر مسیر بوده که رانندگان را مجبور به کاهش سرعت کرده است. اما پس از اجرای ادوات آرام سازی ترافیک، سرعت رانندگان روند رو به کاهش داشت که این نشان می دهد رانندگان پس از طی کردن بخش بیشتری از مسیر، علائم را بهتر درک کرده و تاثیر بیشتری بر آنها گذاشته و این روند کاهشی تا انتهای مسیر ادامه داشت.

در شکل (٤) میانگین سرعت وسایل‌نقلیه و مقایسه آنها توسط نمودار میله‌ای نشان داده شده است که نشان می‌دهد سرعت رانندگان در همه سناریوها کاهش یافته است که این کاهش در سناریو چهارم که با خط‌کشی هاشور حاشیه‌ای طراحی شد از همه بیشتر است.

۳-۲ مطالعات جابجایی جانبی

براساس نتایج ارائه شده در جدول (۲)، عدد کشیدگی مربوط به نمودار توزیع مطالعات قبل و بعد در هر چهار سناریو، برای مطالعات جابجایی جانبی به اندازه مورد نظر بوده و نمودارهای مطالعات جابجایی جانبی نیز دارای توزیع نرمال است. میانگین جابجایی جانبی همه شرکت کنندگان در مقابل ادوات آرام‌سازی ترافیک در سناریو اول ٦ سانتی‌متر افزایش پیدا کرد. اما در سناریوهای دوم، سوم و چهارم به ترتیب ۱/۲، ۲/۸ و ۱۷/۷ سانتی‌متر کاهش پیدا کرد که می توان نتیجه گرفت فقط سناریو چهارم که با خط‌کشی هاشور حاشیه‌ای طراحی شده است بر جابجایی جانبی رانندگان تاثیرگذار بوده است.

آزمون تقریب نرمال برای سناریوی اول به‌دلیل تاثیر منفی انجام نشد. همچنین نتایج آزمون تقریب نرمال برای مطالعات جابجایی جانبی در سناریوی دوم و سوم نشان می‌دهد که این ادوات آرام‌سازی ترافیک با سطح اطمینان ٦۲٪ و ۷٤٪ منجر به

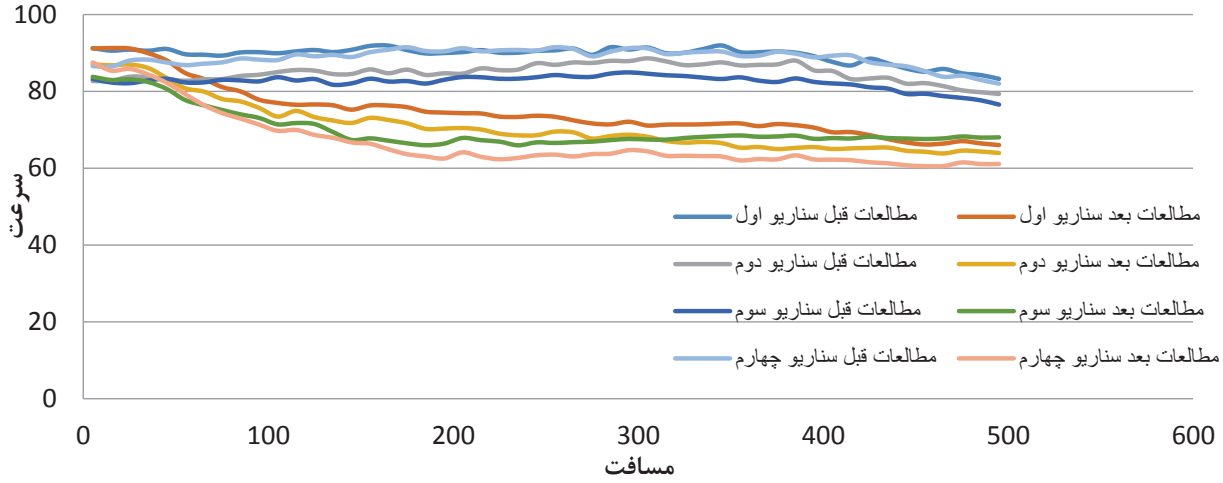
جدول۱. نتایج مطالعات سرعت رانندگان الف) نتایج SPSS و آزمون T ب) نتایج آزمون تقریب نرمال

(الف)

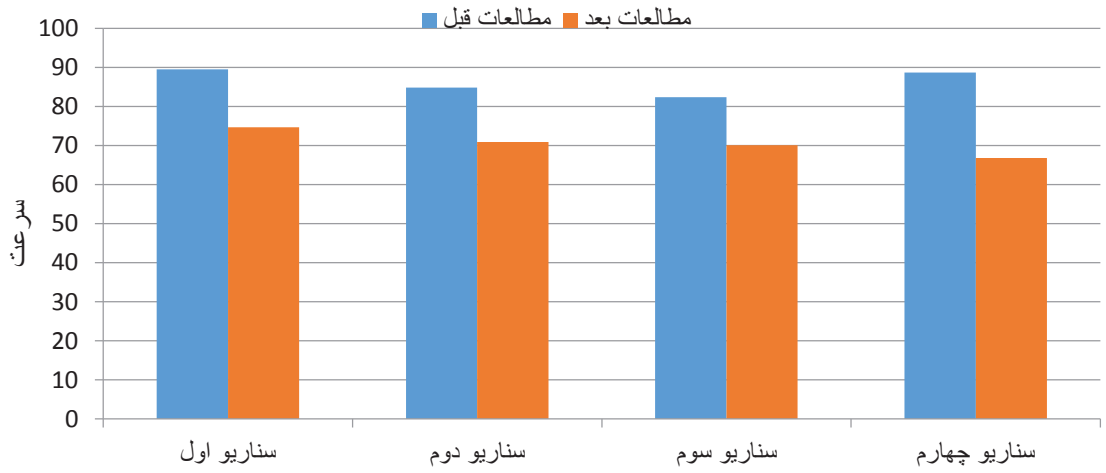
سناریو ها	زمان	میانگین سرعت	واریانس	سرعت ٪۸۵	کشیدگی	نرمال بودن	احتمال آزمون T	کاهش سرعت (کیلومتربرساعت)
سناریوی اول	قبل	۸۹/۵۷	٦٦۱/٤۷	۱۱۲/۲۷	-۰/۸٤	√	۰/۰۰۳	۱٤/۸
	بعد	۷٤/۷	٤۸۵/۱۷	۹۸/۹۰	-۱/۰۹	√		
سناریوی دوم	قبل	۸٤/۸	۵٤٤/۵۹	۱۰۷/٤٦	-۰/۸٤	√	۰/۰۰۵	۱٤
	بعد	۷۰/۸۹	۳۹۲/۸۲	۹۲/۰۳	-۱/۰۹	√		
سناریوی سوم	قبل	۸۲/٤۳	۵٤۸/۵۷	۱۱۰/۷٤	-۱/۱٦	√	۰/۰۰۳	۱۲/۳
	بعد	۷۰/۱۱	۲۸۷/۱۳	۸۹/۳۲	-۰/۱۵	√		
سناریوی چهارم	قبل	۸۸/۷٦	٤٤۸/۱۱	۱۱۰/۸٤	-۱/۰۷	√	۰/۰۰۵	۲۱/۹
	بعد	٦٦/۸۱	۳۵۳/۷۱	۸۳/٦٤	۰/۵۵۹	√		

(ب)

بررسی میزان کاهش سرعت مورد نظر				نتایج آزمون تقریب نرمال			
دستیابی به سرعت مورد نظر	μ_2	μ_1	E	وضعیت	p	zd	Sy
×	۸٦/٦۱	٦۷/۷۸	۳/۵۲	√	٪۹۹/٦	۲/۷٤	۵/٤۲
×	۷۷/۱۱	٦٤/٦٦	۳/۱۷	√	٪۹۹/۷	۲/۸٤	٤/۹۰
×	۷۵/٤۲	٦٤/۷۹	۲/۷۱	√	٪۹۹/٦	۲/٦٦	٤/٦۲
×	۷۲/۷۰	٦۰/۹۰	۳/۰۱	√	٪۹۹/۹	٤/۸٤	٤/۵۳



شکل۳. نمودار پروفیل های سرعت مطالعات قبل و بعد در هر دو سناریو



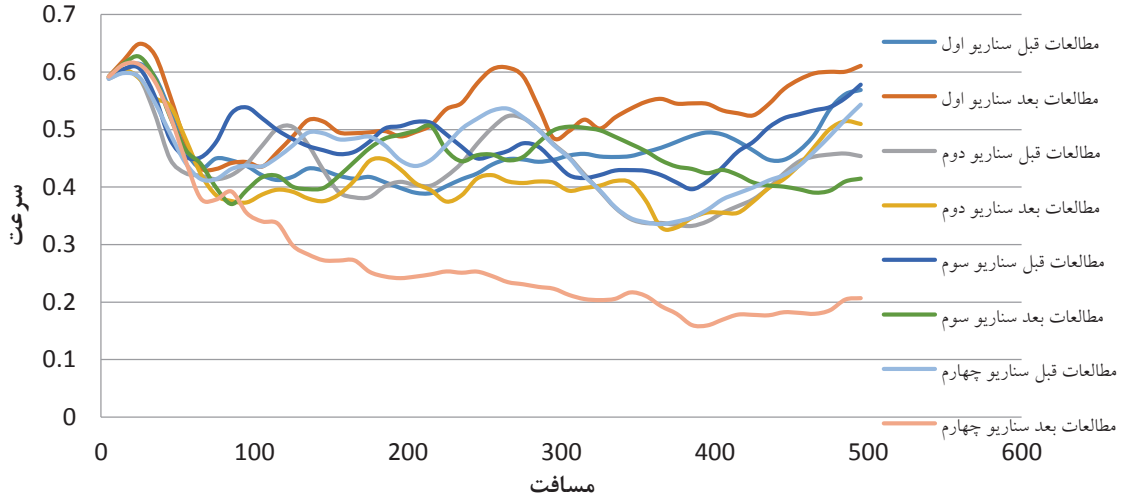
شکل٤. نمودار میله ای سرعت رانندگان در مطالعات قبل و بعد رانندگان در هر چهار سناریو

جدول۲. نتایج SPSS و آزمون تقریب نرمال و آزمون T در مطالعات جابجایی جانبی

سناریوها	زمان	میانگین جابجایی (cm)	انحراف معیار	کشیدگی	نرمال بودن	احتمال آزمون تقریب نرمال	احتمال آزمون T	تغییرات جابجایی(cm)
سناریو اول	قبل	۰/٤٦۰	۰/۱۹	۱/۸۵	√	–	–	-۰/۰٦
	بعد	۰/۵۳۰	۰/۲۱	-۰/۳٦	√			
سناریو دوم	قبل	۰/٤۳٤	۰/۱٦٤	-۰/٦۷	√	٪٦۲	۰/۲۸	۰/۰۱۲
	بعد	۰/٤۲۱	۰/۱۸٤	۰/۷۷	√			
سناریو سوم	قبل	۰/٤۸۳	۰/۱۸٦	-۰/۵۵	√	٪۷٤	۰/۲٦	۰/۰۲۸
	بعد	۰/٤۵۵	۰/۱۸	-۰/۵٤	√			
سناریو چهارم	قبل	۰/٤۵۵	۰/۱۸۱	۱/۳۸	√	٪۹۹/۷	۰/۰۰۳	۰/۱۷۷
	بعد	۰/۲۷۷	۰/۱	-۱/۰۷	√			

کاهش جابجایی جانبی رانندگان شده است که نمی‌توان نتیجه گرفت که این ادوات آرام سازی ترافیک چندان تاثیرگذار بوده است، اما در سناریوی چهارم با سطح اطمینان ۹۹/۹٪ تاثیرگذار بود. در آزمون T نیز برای مطالعات جابجایی جانبی احتمال رخ دادن فرض H0 که برابری میانگین‌های سرعت مطالعات قبل و بعد است، در سناریو دوم و سوم بیشتر از ۵٪ به دست آمده است که فرض H0 را رد نکرده و نشان می‌دهد میانگین‌های سرعت در هر دو سناریوی در سطح معناداری با هم اختلاف ندارند، اما در سناریو چهارم این احتمال زیر ۵٪ بوده که بیانگر تفاوت میانگین ها در سطح معناداری است.

در شکل (۵)، جابجایی جانبی رانندگان در طول مسیر در سناریوهای مختلف ارائه شده است که براساس آن، سناریوی اول مربوط به قبل از اجرای تمهیدات آرام‌سازی ترافیک، تغییر چندانی نداشته، ولی پس از اجرای ادوات آرام‌سازی، روند رو به افزایش داشته که این نشان می‌دهد توجه رانندگان، به این علائم جلب شده و از جابجایی‌های جانبی کاسته شده است. در سناریوی دوم و سوم پس از اجرای ادوات آرام‌سازی، مقدار کمی کاهش وجود دارد؛ اما به دلیل نوسانات موجود نمی‌توان اظهار نظر قاطع انجام داد و این صرفاً نشان می‌دهد که رانندگان تحت تأثیر این علائم به میزان کمی به دنبال کنترل جابجایی جانبی بودند. اما در سناریوی چهارم نمودار جابجایی جانبی رانندگان در طول مسیر به شدت روند کاهشی داشته است که می‌توان گفت تاثیر زیادی بر جابجایی جانبی رانندگان داشته است.

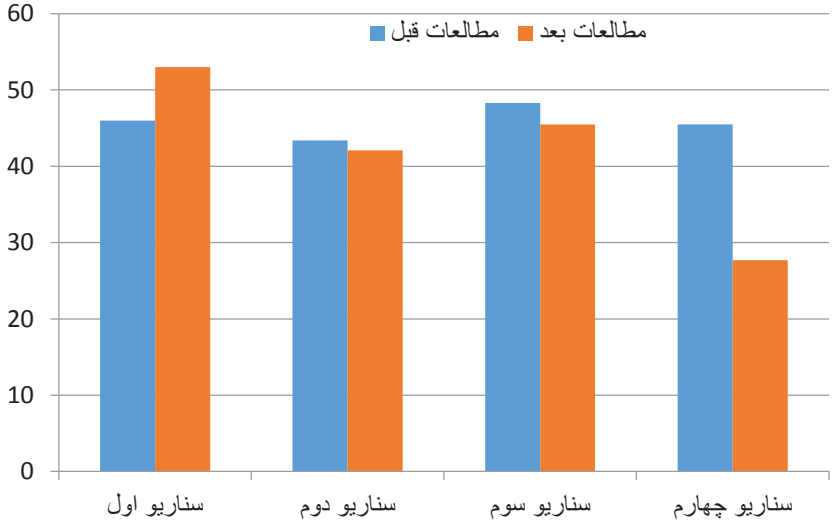


شکل۵. نمودار پروفیل های جابجایی جانبی مطالعات قبل و بعد در هر دو سناریو

براساس نمودار میله‌ای شکل (٦) نیز مشخص است که میانگین جابجایی جانبی رانندگان نیز بیانگر این موضوع است که جابجایی جانبی رانندگان در سناریوی اول افزایش داشته و در سناریوی دوم و سوم نیز کاهش اندک داشته اما در سناریوی چهارم با خط‌کشی هاشور حاشیه‌ای کاهش چشمگیری داشته است.

٤. نتیجه‌گیری و ارائه پیشنهادات

دو هدف اصلی در این پژوهش مد نظر بوده که یکی کاهش سرعت وسایل‌نقلیه که برای این کار از اقدامات آرام‌سازی ترافیک استفاده شد و دیگری بررسی تأثیر این اقدامات در محیط دنیای مجازی برای کاهش هزینه و بالا بردن ایمنی است؛ زیرا قبل از اجرای این ادوات نمی‌توان در مورد تأثیر آن اظهار نظر کرد. بنابراین ابتدا در محیط مجازی آنها را آزمایش کرده و در صورت مثبت بودن نتیجه آنها، می‌توان اقدام به اجرا نمود. همچنین بررسی جابجایی‌های جانبی رانندگان تحت تأثیر این علائم نیز انجام شده و نتایج چهار طرح خط‌کشی عرضی ممتد، خط‌کشی عرضی محیطی، خط‌کشی دندان اژدهایی و خط‌کشی هاشور حاشیه‌ای در مقطعی به طول ٤٣٠ متر برداشت شده است. به منظور بررسی تأثیرگذاری این ادوات آرام سازی ترافیک مطالعه‌ای به صورت قبل و بعد بر سرعت وسایل‌نقلیه عبوری از طریق شبیه‌سازی در



شکل٦. نمودار میانگین جابجایی جانبی همه شرکت کنندگان در مطالعات قبل و بعد، در هر دو سناریو

جدول۳. کاهش سرعت و جابجایی جانبی رانندگان در سناریوها

	اول	دوم	سوم	چهارم
کاهش سرعت (کیلومتربرساعت)	۱٤/۸	۱٤	۱۲/۳	۲۱/۹
کاهش جابجایی جانبی (سانتی‌متر)	–	۱	۲	۱۷/۷

دستگاه شبیه‌ساز رانندگی انجام گرفت.

نتایج آزمون‌های آماری مورد نظر مانند آزمون نرمال بودن داده‌ها، آزمون تقریب نرمال، آزمون T در هر مرحله به اقتضای نیاز تحلیل آماری، نشان داد که صحت و سقم آماربرداری‌ها در آزمون‌ها مورد تأیید بوده است، ولی برخی از حالات آزمون ها از لحاظ تعداد نمونه و یا واریانس ها مورد تأیید نبود. در این پروژه از نرم افزار تحلیل آماری IBM SPSS Statistics 21.0 به منظور محاسبه پارامترهای مورد نیاز آماری و آزمون ها استفاده شد.

پس از تحلیل و بررسی داده‌ها، نتایج نشان داد که خط‌کشی عرضی ممتد استفاده شده در سناریوی اول در کاهش سرعت رانندگان به میزان ۱٤/۸ کیلومتربرساعت تاثیرگذار بوده است. همچنین کاهش سرعت در سناریو دوم و سوم که به ترتیب شامل خط‌کشی عرضی منقطع یا حاشیه‌ای و خط‌کشی دندان اژدهایی بوده به میزان ۱٤ و ۱۲/۳ کیلومتربرساعت مشاهده شد. اما سناریو چهارم با خط‌کشی هاشور حاشیه‌ای با بیشترین میزان تأثیر به میزان ۲۱/۹ کیلومتربرساعت بر کاهش سرعت رانندگان تأثیر دارد. بر خلاف انتظار، این خط‌کشی ها بر جابجایی جانبی رانندگان تأثیر چندانی ندارد که یکی از دلایل آن بر هم خوردن تمرکز رانندگان حین توجه به علائم جدید بر سطح راه است. اما خط‌کشی هاشور حاشیه‌ای در سناریوی چهارم بر کاهش جابجایی جانبی تاثیر قابل توجهی دارد که یکی از دلایل آن پیوستگی این خط‌کشی‌ها در طول مسیر است.

از نقاط ضعف پیشنهادات این پژوهش، پوشیده شدن سطح وسیعی از راه توسط رنگ بوده که منجر به کاهش اصطکاک بین چرخ وسایل‌نقلیه و سطح راه می شود که در روز های بارانی می تواند خطر ساز شود.

پروژه انجام شده، اولین پژوهش علمی در زمینه آرام‌سازی ادراکی ترافیک ورودی شهرها به وسیله دستگاه شبیه‌ساز در ایران بوده است که در آینده می‌توان از طرح های دیگر و همچنین در نقاطی با شرایط دیگر و با مشکلات گوناگون استفاده کرد. همچنین می‌توان این خط‌کشی‌ها را در دنیای واقعی با همین شرایط هندسی و ترافیکی اجرا کرد و با نتایج دنیای مجازی مقایسه کرد و با مقایسه نتایج دنیای واقعی و مجازی برای یک یا چند طرح خط‌کشی به یک مدل و رابطه‌ای برای میزان تأثیر گذاری هر نوع خط‌کشی دست یافت که با اجرای هر طرح خط‌کشی در دنیای مجازی میزان اثرگذاری آن در دنیای واقعی را قبل از اجرا پیش بینی کرد و نیز از هزینه‌های هدر رفت در آزمودن خط‌کشی های مختلف برای رسیدن به بهترین طرح کاست.

۵. پی نوشت‌ها

1- World Health Organization (W.H.O)
2- Driving simulator
3- Peripheral
4- Traffic calming device
5- Transverse rumble strips
6- Turner-Fairbank Highway Research Center (TFHRC)
7- Fixed base driving simulator
8- Peripheral transverse lines
9- Lateral displacement
10- Moving base driving simulator
11- Dragon’s teeth
12- Peripheral hatched lines

٦. مراجع

– وهاب زاده،الف. (۱۳۸۷) "تاثیر عامل انسانی بر وقوع تصادفات رانندگی آزادراه کرج–قزوین درسال۸٤ و راه های کنترل وکاهش آن"، فصلنامه راهور، شماره ٤، ص ۱۱۳

-Abate, D., Dell'Acqua, G., Lamberti, R. and Coraggio, G. (2009) "Use of traffic calming devices along major roads thru small rural communities in Italy", Transportation Research Record, paper 08-067.

- Auberletl, J. M., Pacaux, M. P., Anceaux, F., Plainchault, P. and Rosey, F. (2010) "The impact of perceptual treatments on lateral control: a study using fixed-base and motionbase driving simulators", Accident Analysis and Prevention 42, 166–173.

- Balde, A. D. and Dissanayake, S. (2011) "Effectiveness of optical speed bars in reducing approach speeds to rural communities",Transportation Research Record, paper 11-2000.

- Galante, F., Mauriello, F., Montella, A., Pernetti, M., Aria, M. and D'Ambrosio, A. (2010) "Traffic calming along rural highways crossing small urban communities: driving simulator experiment", Accident Analysis and Prevention, 42, pp.1585–1594.

- Godley, S. (1999) "A driving simulator investigation of perceptual countermeasures to speeding", PhD Thesis. Department of Psychology, Monash University.

- Godley, S.T., Triggs, T.J. and Fildes, B.N. (2002) "Driving simulator validation for speed research" Accident Analysis and Prevention, 34, pp.589–600.

- Jamson, A.H., Pyne, H.C. and Carsten, O.M.J. (1999)"Evaluation of traffic calming measures using the Leeds Driving Simulator", In: Driving Simulation Conference, Paris.

- Katz, B. J., Molino, J. A. and Rakha, H.A. (2008)"Evaluation of design alternatives of peripheral transverse bars to reduce vehicle speeds and center line encroachment in a driving simulator", In: 87th Annual Meeting of the Transportation Research Board , Washington, DC.

- Katz, B. J. and Rakha, H.A. (2008) "Determination of effective design of perceptual transverse bars to reduce vehicle speeds on a controlled roadway", Transportation Research Record, paper 08-1253

- Molino, J. A., Katz, B. J. and Hermosillo, M.B. (2010) "Simulator evaluation of low cost safety improvements on rural, two-lane, undivided roads: nighttime delineation for curves; and traffic calming for small towns", In: Presented at 89th Annual Meeting of the Transportation Research Board, Washington, DC.

- Montella, A., Aria, M., D'Ambrosio A., Galante F., Mauriello F. and Pernetti, M. (2011)"Simulator evaluation of drivers' speed, deceleration and lateral position at rural intersections in relation to different perceptual cues" Accident Analysis and Prevention 43(6): pp.2072-2084 .

- Rosey, F., Auberlet, J. M., Bertrand, J. and Plainchault, P. (2008)"Impact of perceptual treatments on lateral control during driving on crest vertical curves: a driving simulator study", Accident Analysis and Prevention, 40, pp.1513–1523.

- Ruschman, P. A., Joscelyn, K. and Treat, J. R. (1981) "Managing the speed crash risk", University of Michigan Highway Safety Research Institute.

- Yan, X., Abdel-Aty, M., Radwan, E., Wang, X. and Chilakapati, P. (2008)"Validating a driving simulator using surrogate safety measures", Accident Analysis and Prevention 40, pp.274–288.