Urban Development Policy Making
Home Page: https://judpm.ir
Online ISSN: 3092-6564

Comparative Evaluation of Traffic Calming Measures Effectiveness in Reducing Vehicle Speeds (A Field Study in Tehran)

Hassan Khaksar[1*] | **Payam Moeini**[2]

1. Corresponding Author, Assistant Professor of Civil Engineering, North Tehran Branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran. Email: h.khaksar@iau-tnb.ac.ir
2. Master of Science in Road Engineering, Tarbiat Modares University, Tehran, Iran. Email: Paiammoeini@gmail.com

ARTICLE INFO

Article type:
Research Paper

Article History:
Received 28 November 2025
Revised 29 December 2025
Accepted 28 February 2026
Published Online 01 June 2026

Keywords:
Traffic calming,
Speed reduction,
Urban safety,
T-test,
Tehran streets.

ABSTRACT

Traffic calming measures are widely used in urban streets to reduce vehicle speeds and improve road safety. This study evaluates the effectiveness of several traffic calming measures implemented in Tehran, including plastic speed humps, sinusoidal speed humps, median islands, pavement treatments, and rumble strips. Vehicle speeds were collected under free-flow traffic conditions using laser speed measurement devices. A before–after analysis framework was adopted, and independent sample t-tests were used to compare vehicle speeds before and at the location of each traffic calming measure. The results indicate that plastic speed humps, plastic speed humps combined with median islands, and sinusoidal speed humps produced the greatest reductions in vehicle speed. In contrast, rumble strips did not show statistically significant effects on speed reduction. The findings also demonstrate that speed reduction generally begins before the installation point and gradually recovers after passing the calming device. Overall, the study confirms that properly designed traffic calming measures can effectively reduce operating speeds and improve urban traffic safety. Combined calming strategies were found to be more effective than isolated measures. The results can support evidence-based decision-making for selecting suitable traffic calming measures in urban streets.

Cite this article: Khaksar, H. & Moeini, P. (2026). Comparative Evaluation of Traffic Calming Measures Effectiveness in Reducing Vehicle Speeds (A Field Study in Tehran). *Urban Development Policy Making*, 3 (2), 283-298. DOI: http//doi.org/10.22034/judpm.2026.577927.1094

© Hassan Khaksar, Payam Moeini
DOI: http//doi.org/10.22034/judpm.2026.577927.1094

Introduction

Excessive vehicle speed is one of the major causes of severe urban traffic crashes, particularly those involving pedestrians and cyclists. Traffic calming measures are commonly implemented to reduce operating speeds and improve road safety in urban streets. Although many traffic calming devices have been used in Tehran, limited studies have quantitatively evaluated their effectiveness under real traffic conditions. Therefore, this study aims to assess and compare the effectiveness of different traffic calming measures in reducing vehicle speeds in Tehran.

Materials and Methods

This study applied a before–after evaluation framework to investigate the effectiveness of selected traffic calming measures, including plastic speed humps, sinusoidal speed humps, rumble strips, pavement treatments with median islands, and plastic speed humps combined with median islands.
Vehicle speeds were measured using laser speed detection devices under free-flow traffic conditions. Speed observations were collected at several points before, at, and after each traffic calming measure. Only passenger vehicles with sufficient headway were included in the analysis to minimize traffic

interaction effects. Statistical analyses included descriptive analysis, Levene’s variance test, and independent sample t-tests to evaluate the significance of speed reductions.

Results

The results show that most traffic calming measures significantly reduced vehicle operating speeds. Plastic speed humps and plastic speed humps combined with median islands demonstrated the highest effectiveness, followed by sinusoidal speed humps and pavement treatments with median islands. Vehicle speeds generally began to decrease approximately 60 meters before the calming measure and reached minimum values at the installation point. After passing the device, speeds gradually increased again. Rumble strips showed the lowest effectiveness and did not produce statistically significant speed reductions.

Discussion and Conclusion

The findings indicate that traffic calming measures can effectively reduce vehicle speeds and improve urban traffic safety. Combined calming strategies generally performed better than isolated measures. The study also suggests that rumble strips should mainly be used as warning devices rather than standalone speed reduction measures. Proper geometric design, installation standards, and roadway compatibility are important factors affecting the performance of traffic calming measures. Overall, the results provide useful guidance for selecting effective traffic calming strategies in urban streets and support evidence-based traffic safety planning in Tehran.

پیشرفت شهری
سیاستگذاری
سایت نشریه: https:// judpmi.ir
شاپا الکترونیکی: ۶۵۶۴-۳۰۹۲

ارزیابی تطبیقی اثربخشی ابزارهای آرام‌سازی ترافیک در کاهش سرعت وسایل نقلیه (مطالعهٔ میدانی خیابان‌های تهران)

حسن خاکسار[۱*]| پیام معینی[۲]

۱. نویسندهٔ مسئول، استادیار دانشگاه آزاد اسلامی واحد تهران شمال، تهران، ایران. رایانامه: H.khaksar@iau-tnb.ac.ir
۲. کارشناس ارشد راه و ترابری، دانشگاه تربیت مدرس، تهران، ایران. رایانامه: Paiammoeini@gmail.com

اطلاعات مقاله

نوع مقاله:
پژوهشی

تاریخ‌های مقاله:
تاریخ دریافت: ۱۴۰۴/۰۸/۰۱
تاریخ بازنگری: ۱۴۰۴/۱۰/۰۱
تاریخ پذیرش: ۱۴۰۴/۱۲/۰۱
تاریخ انتشار: ۱۴۰۵/۰۳/۱۱

کلیدواژه:
اثرسنجی اقدامات آرام‌سازی،
آزمون t،
کاهش سرعت.

چکیده

در دهه‌های اخیر، با توسعهٔ فناوری‌های نوین و گسترش سبک زندگی ماشینی در شهرها، امکان جابه‌جایی در معابر با سهولت و آزادی بیشتری فراهم شده است. این افزایش تردد و رشد سرعت سفرهای درون‌شهری موجب بالا رفتن تعداد تصادفات به‌ویژه در معابر شهری شده است. سرعت غیرمجاز از عوامل اصلی بروز سوانح جرحی و فوتی به شمار می‌رود و به همین‌دلیل، مدیران شهری همواره تلاش کرده‌اند با به‌کارگیری ابزارهای آرام‌سازی، جریان ترافیک را ایمن‌تر کنند. راهکارهای آرام‌سازی ترافیک معمولاً در معابر شریانی، جمع‌وپخش‌کننده و محلی اجرا می‌شوند و هدف آن‌ها، کاهش سرعت وسایل نقلیه و ایجاد محیطی امن‌تر برای کاربران آسیب‌پذیر است. هدف اصلی این پژوهش، ارزیابی و سنجش میزان اثربخشی انواع اقدامات آرام‌سازی ترافیک در شهر تهران است. برای این‌منظور، از آزمون t استفاده شده و میانگین سرعت وسایل نقلیه در نقطه‌ای پیش از محل اجرای اقدام (حدود ۱۰۰ متر قبل) با سرعت در محل اجرای ابزار آرام‌سازی مقایسه شده است. نتایج آزمون نشان می‌دهد به‌ترتیب «سرعت‌گیر پلاستیکی»، «سرعت‌گیر پلاستیکی همراه با جزیرهٔ میانی»، «سرعت‌کاه قوسی»، و «سنگفرش همراه با جزیرهٔ میانی» بیشترین میزان کاهش سرعت را ایجاد کرده‌اند. در مقابل، «نوار لرزاننده» تأثیری معنادار در کاهش سرعت نداشته و بی‌اثر تشخیص داده شده است.

استناد: خاکسار، حسن و معینی، پیام (۱۴۰۵). ارزیابی تطبیقی اثربخشی ابزارهای آرام‌سازی ترافیک در کاهش سرعت وسایل نقلیه (مطالعهٔ میدانی خیابان‌های تهران). *سیاستگذاری پیشرفت شهری*، ۳ (۲) ۲۸۳-۲۹۸.

DOI: http//doi.org/10.22034/judpm.2026.577927.1094

© حسن خاکسار، پیام معینی
DOI: http//doi.org/10.22034/judpm.2026.577927.1094

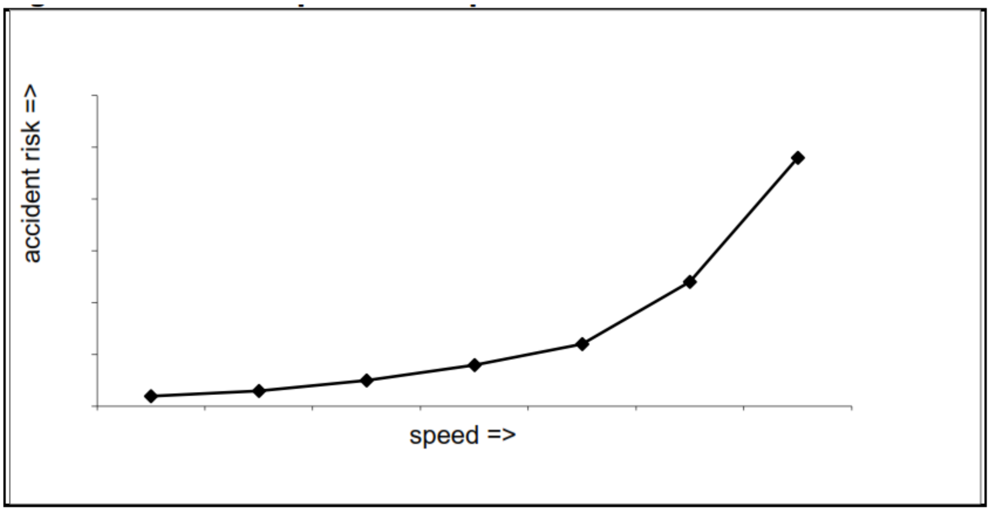
مقدمه

در سال‌های اخیر و هم‌زمان با رشد فناوری‌های نوین و گسترش سبک زندگی ماشینی در شهرها، امکان تردد در معابر شهری با سهولت و آزادی بیشتری فراهم شده است. با وجود این، افزایش تحرک و بالا رفتن سرعت سفرهای درون‌شهری، تعداد تصادفات نیز در بسیاری از شهرها رشد قابل توجهی داشته است. بدیهی است که در چنین شرایطی ارائهٔ راهکارهای علمی و عملی که بتواند از وضعیت موجود بیشترین بهره را ببرد و به حفاظت از جان و اموال کاربران کمک کند، امری ضروری به شمار می‌آید. در دهه‌های گذشته مطالعات متعددی در زمینهٔ تصادفات، سازوکار شکل‌گیری آن‌ها، پیش‌بینی فراوانی سوانح و ارتقای ایمنی راه‌ها انجام شده است. اغلب این پژوهش‌ها، سرعت را مهم‌ترین عامل بروز تصادفات و به‌ویژه سوانح جرحی و فوتی معرفی کرده‌اند. تردد وسایل نقلیه با سرعت‌های بالا در خیابان‌های شهری پیامدهای نامطلوبی ایجاد می‌کند که از جملهٔ آن‌ها می‌توان به کاهش ایمنی، کاهش رغبت افراد به پیاده‌روی و دوچرخه‌سواری (به‌خصوص در میان گروه‌های آسیب‌پذیر)، کاهش تعاملات اجتماعی، و افزایش آلودگی هوا و آلودگی صوتی اشاره کرد. سهم مهمی از تلفات ناشی از تصادفات رانندگی، نتیجهٔ سرعت غیرمجاز و نامناسب وسایل نقلیه است. کاهش سرعت حرکت خودروها می‌تواند به شکل مؤثری میزان وقوع تصادفات و شدت صدمات آن را کاهش دهد. هرچه سرعت بیشتر باشد، زمان واکنش و امکان توقف برای راننده کمتر می‌شود؛ برای نمونه، یک خودرو با سرعت ۵۰ کیلومتر بر ساعت به حدود ۳۰ متر فاصله برای توقف نیاز دارد، در حالی که با سرعت ۴۰ کیلومتر بر ساعت این فاصله به کمتر از ۲۰ متر کاهش می‌یابد. از سوی دیگر، افزایش سرعت رابطهٔ مستقیمی با شدت برخورد، به‌ویژه برای کاربران آسیب‌پذیر مانند عابران پیاده و دوچرخه‌سواران دارد. احتمال زنده ماندن عابر در برخورد با وسیلهٔ نقلیه‌ای با سرعت ۳۰ کیلومتر بر ساعت حدود ۹۰ درصد است، اما با افزایش سرعت به ۴۵ کیلومتر این احتمال به کمتر از ۵۰ درصد و در سرعت ۸۰ کیلومتر تقریباً به صفر می‌رسد. مدیریت سرعت از طریق مجموعه‌ای از سیاست‌ها، ابزارها و مداخلات امکان‌پذیر است. سرعت تردد پدیده‌ای چندبعدی است که به عواملی همچون فرهنگ رانندگی، رفتار افراد، طراحی هندسی معبر، عملکرد وسایل نقلیه، شرایط محیطی و آب‌وهوایی، محدودیت‌های سرعت تعیین‌شده، نحوهٔ اعمال قانون و سیاستگذاری‌های ترافیکی وابسته است. برای موفقیت در مدیریت سرعت، هم‌افزایی سه حوزهٔ مهندسی، آموزش و اعمال قانون ضرورت دارد و همکاری نهادها و دستگاه‌های مختلف را می‌طلبد. در پژوهش‌های پیشین نشان داده شده است که حدود ۹۰ درصد تصادفات منجر به فوت در آمریکا با عبور عرضی عابران، تصادفات مرتبط با دوچرخه و برخوردها در تقاطع‌ها مرتبط بوده و حدود ۳۰ درصد تصادفات فوتی نیز مستقیم ناشی از سرعت بالا بوده است. به دلیل تأثیرگذاری عوامل متعدد بر سرعت حرکت رانندگان، شناسایی این عوامل و بررسی نقش هر یک در کاهش سرعت ضروری است. آرام‌سازی ترافیک به عنوان مجموعه‌ای از مداخلات فیزیکی و مدیریتی، با هدف کاهش سرعت وسایل نقلیه، تعدیل رفتار رانندگان و بهبود شرایط برای کاربران آسیب‌پذیر به کار می‌رود. این اقدامات می‌توانند به صورت مستقل یا ترکیبی موجب کاهش سرعت، کاهش تقاضای سفر و کاهش تداخل‌های ترافیکی شوند. با این‌حال، در برخی موارد ممکن است آثار جانبی مانند محدودیت دسترسی ساکنان، کاهش کارایی وسایل نقلیهٔ اضطراری و حمل‌ونقل عمومی یا افزایش هزینه‌های نگهداری معابر را به همراه داشته باشند. همچنین، در مواردی موجب انتقال جریان ترافیک به معابر مجاور می‌شوند که این موضوع نیز پیامدهای خاص خود را دارد.

در معابر شریانی، جمع‌وپخش‌کننده و محلی شهری، بخش عمده‌ای از تصادفات منجر به جرح و فوت عابران پیاده، دوچرخه‌سواران و موتورسواران رخ می‌دهد. بررسی آمار تصادفات درون‌شهری تهران نیز نشان می‌دهد بیشترین قربانیان تصادفات ترافیکی را عابران تشکیل می‌دهند و عامل اصلی در بخش عمدهٔ این حوادث، سرعت غیرمجاز وسایل نقلیه است. از این‌رو، استفاده از ابزارهای آرام‌سازی ترافیک در این معابر با هدف کاهش سرعت و ارتقای ایمنی کاربران آسیب‌پذیر امری ضروری است. انتخاب نوع مناسب این اقدامات باید با در نظر گرفتن عواملی همچون توپوگرافی، ساختار شبکه، عرض سواره‌رو، پارک حاشیه‌ای، دسترسی‌های محلی، ویژگی‌های ترافیک، نوع خودروها، ملاحظات مربوط به ناوگان عمومی و امدادی، میزان حضور عابران و دوچرخه‌سواران، شرایط اقلیمی، و ویژگی‌های جمعیتی و اجتماعی انجام شود. در بافت‌های تاریخی نیز استفاده از اقدامات آرام‌سازی با هدف کاهش سرعت و کاهش تداخل میان خودروها و عابران رواج دارد، اما ضروری است این مداخلات به

نحوی طراحی شوند که هویت و ارزش‌های تاریخی بافت را مخدوش نکنند. هرچند بسیاری از این اقدامات برای بهبود شرایط خیابان‌های موجود پیشنهاد می‌شوند، اما می‌توان در طراحی‌های جدید شهری و توسعهٔ معابر آینده نیز از اصول آرام‌سازی بهره برد. ارزیابی میزان تغییرات سرعت و تصادفات پس از اجرای اقدامات ایمنی از مهم‌ترین مراحل چرخهٔ مدیریت ایمنی به شمار می‌رود. به طور تقریبی، می‌توان گفت که افزایش سرعت به میزان ۱ کیلومتر بر ساعت به ۳ درصد افزایش تصادفات منجر خواهد شد. هرچند در عمل رابطه بسیار پیچیده است و تعیین رابطهٔ دقیق به پارامترهای متعددی وابسته است. بر اساس روابط انرژی و داده‌های تجربی، رابطهٔ ۱ برای شدت تصادفات تبیین شده است. در این رابطه A2 تعداد جراحت‌های بعد از تغییر سرعت است. A1 تعداد جراحت‌ها قبل از تغییر سرعت و V1 و V2 هم به‌ترتیب بیانگر سرعت اولیه و ثانویه خودرو هستند [۱].

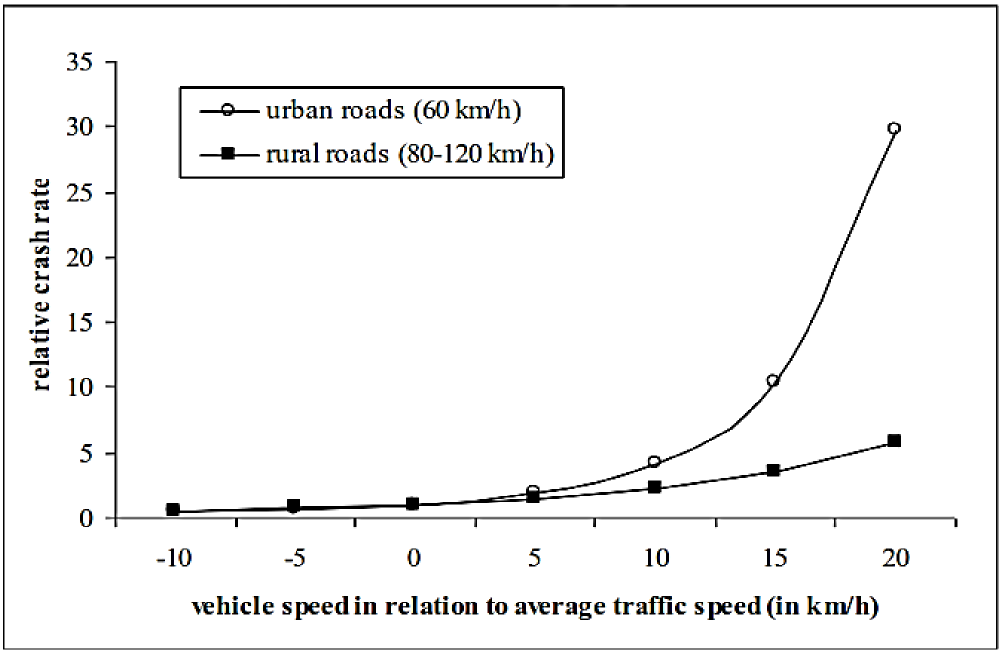
$$A_2 = A_1\left(\frac{v_2}{v_1}\right)^2 \qquad (۱)$$



شکل ۱. ارتباط بین سرعت و ریسک تصادفات [۱]

بالا بودن تفاوت سرعت‌ها به افزایش احتمال وقوع تصادفات منجر خواهد شد. دلیل این موضوع، غیرقابل پیش‌بینی شدن رفتار رانندگان، افزایش مانورهای سبقت و ... است. این موضوع در مطالعات گذشته تأیید شده است. الویک در یک کار تحقیقاتی ۱۳ مطالعه در خصوص اثرات واریانس سرعت‌ها را مورد بررسی قرار داده است. اغلب این مطالعات ارتباط مثبت و معناداری بین واریانس سرعت تردد و ریسک تصادفات گزارش کرده‌اند هر چند در روابط ارائه‌شده تفاوت‌های جزئی وجود داشته است. در مطالعات یادشده از روش‌های مختلفی استفاده شده است و مقایسهٔ دقیق و جزئی نتایج آن‌ها امکان‌پذیر نیست. به بیانی، باید به این نکته اشاره داشت که ریسک تصادفات برای راننده‌های با سرعت بالاتر بیشتر است. تعدادی از مطالعات به بررسی ریسک تصادفات رانندگان سریع پرداخته‌اند. این مطالعات به مقایسهٔ سرعت رانندگان درگیر در تصادف با متوسط سرعت تردد رانندگان در معبر پرداخته‌اند. بر اساس خروجی‌های این مطالعات با افزایش واریانس سرعت‌ها شدت تصادفات افزایش یافته است. این موضوع در شکل ۲ نشان داده شده است [۲].

برای مدیریت سرعت تردد خودروها سیاست‌ها و ابزارهای متنوعی وجود دارد. از طرفی، سرعت تردد یک مسئلهٔ پیچیده است که ناشی از شرایط مختلف نظیر فرهنگ، رفتار راننده، عملکرد خودرو، طراحی معبر، مشخصات ترافیک، شرایط آب و هوایی، محدودیت سرعت اعلام شده، استراتژی‌های اعمال قانون و تصمیمات و سیاست‌های قانون‌گذار است. برای موفقیت در یک طرح مدیریت سرعت لازم است اقدامات مهندسی، جرائم و آموزش اجرا شوند. این موضوع نیازمند همکاری و پیگیری گروه‌های مختلفی است. بر اساس مطالعات پیشین، گذر عرضی عابران پیاده، تصادفات مربوط به دوچرخه و تصادفات تقاطع‌ها در ۹۰ درصد تصادفات منجر به فوت در امریکا نقش داشته‌اند. همچنین، حدود ۳۰ درصد تمام تصادف‌های فوتی ناشی از سرعت بالا بوده است.



شکل ۲. ارتباط بین واریانس سرعت و شدت تصادفات در معابر شهری [۲]

تعریف مسئله و اهداف تحقیق

با وجود گسترش اجرای ابزارهای آرام‌سازی ترافیک در معابر شهری تهران، یکی از چالش‌های اساسی در مدیریت ترافیک آن است که هنوز مشخص نیست کدام‌یک از این اقدامات بیشترین تأثیر را بر کاهش سرعت وسایل نقلیه دارند و کدام‌یک از نظر هزینه ـ اثربخشی، بهره‌وری و پیامدهای ایمنی برتری دارند. در بسیاری از مناطق و نواحی شهری، انتخاب نوع ابزار آرام‌سازی عمدتاً بر مبنای تجربهٔ کارشناسان محلی، توصیه‌های کلی آیین‌نامه‌ای و رویکردهای سلیقه‌ای انجام می‌شود، نه بر پایهٔ مطالعات تحلیلی و داده‌محور مبتنی بر ارزیابی قبل و بعد از اجرا. این وضعیت موجب شده تا کارایی واقعی اقداماتی نظیر سرعت‌گیر، سرعت‌کاه قوسی، جزایر میانی، نوار لرزاننده و مصالح سنگفرش در کاهش سرعت تردد مشخص نباشد و در مواردی، امکان اتلاف منابع، مکان‌یابی نادرست یا انتخاب ابزاری با اثر اندک وجود داشته باشد. در این شرایط، ضرورت انجام پژوهشی جامع و میدانی که بتواند اثر واقعی هر ابزار آرام‌سازی را در کاهش سرعت وسایل نقلیه در شرایط واقعی معابر تهران اندازه‌گیری کند، بیش از پیش احساس می‌شود. هدف این پژوهش آن است که با بهره‌گیری از سنجش سرعت در نقاط مختلف ـ قبل، محل و بعد از اجرای اقدام آرام‌سازی ـ و تحلیل آماری دقیق، میزان تأثیرگذاری هر یک از ابزارها را مشخص کرده و از میان آن‌ها، گزینه‌هایی را که بالاترین کارایی و بیشترین کاهش سرعت را ایجاد می‌کنند، شناسایی کند. چنین مطالعه‌ای می‌تواند مبنای تصمیم‌گیری آتی برای انتخاب ابزارهای استاندارد، حذف موارد ناکارآمد، و هدایت منابع مالی به سمت مداخلات مؤثرتر در حوزهٔ ایمنی شهری باشد. بر این‌اساس، اهداف اصلی این پژوهش به صورت زیر تدوین می‌شود: شناسایی و مستندسازی انواع ابزارهای آرام‌سازی ترافیک مورد استفاده در سطح شهر تهران از جمله سرعت‌گیرها، سرعت‌کاه‌ها، گذرگاه‌های برجسته، نوارهای لرزاننده، جزایر میانی و سایر اقدامات متداول یا محلی. اندازه‌گیری سرعت وسایل نقلیه در معابر منتخب پیش از اجرای اقدامات آرام‌سازی و پس از آن به منظور تحلیل میزان کاهش سرعت و تعیین اثربخشی نسبی هر ابزار. تحلیل سرعت عملکردی در سه مقطع مکانی شامل نقطهٔ قبل از اقدام، محل اجرای اقدام و نقطه بعد از اجرای اقدام برای درک دقیق‌تر الگوی کاهش سرعت و رفتار رانندگان در مواجهه با هر ابزار آرام‌سازی. انتخاب و معرفی مؤثرترین ابزارهای آرام‌سازی بر اساس شاخص‌های اثرسنجی ایمنی شامل میزان کاهش سرعت، ثبات اثر در فاصلهٔ پس از اقدام، سازگاری با محیط شهری و قابلیت به‌کارگیری گسترده در شبکهٔ معابر تهران.

پیشینهٔ پژوهش

پژوهش‌های متعددی به بررسی اثر ابزارهای آرام‌سازی ترافیک و مداخلات فیزیکی بر سرعت وسایل نقلیه و ایمنی کاربران راه پرداخته‌اند. در بسیاری از این مطالعات، به‌کارگیری تجهیزات فیزیکی نظیر سرعت‌کاه‌ها، سرعت‌گیرها، گذرگاه‌های برجسته و سایر طرح‌های آرام‌سازی، به عنوان یکی از روش‌های مؤثر برای مدیریت سرعت در معابر شهری مطرح شده است. رحیمی و عباسی با تحلیل وضعیت موجود سرعت‌کاه‌ها در کشور و مقایسهٔ آن با تجربیات جهانی، نتیجه گرفتند که عملکرد بسیاری از این تجهیزات در ایران به دلیل طراحی و نصب غیر استاندارد، با مشکلات جدی همراه است [۳]. عبدالواحد و هاشم با بررسی سرعت خودروها در دو شهر تاحتا و جرجا در مصر نشان دادند سرعت‌کاه‌ها باعث کاهش کوتاه‌مدت سرعت می‌شوند، اما در برخی مواقع به دلیل تخریب روسازی و رفتار نامنظم رانندگان، اثر پایدار ندارند [۴]. گیتلمن و همکاران با تحلیل سرعت عبوری در هشت گذرگاه عابر، گزارش کردند که اجرای گذرگاه برجسته سرعت عملیات رانندگان را تا ۳۵ درصد کاهش می‌دهد و اثر معناداری در بهبود ایمنی دارد [۵]. مورنو و گارسیا با استفاده از مدل رگرسیون چندگانه نشان دادند یکنواختی سرعت در مسیرهای دارای سرعت‌گیر کمتر است و تراکم تجهیزات آرام‌سازی نقش مهمی در کنترل سرعت‌های غیرمجاز دارد [۶]. حسنی‌نسب و همکاران نیز با استفاده از آزمون‌های آماری نشان دادند نصب سرعت‌کاه در شرایط جریان آزاد، تفاوت معناداری میان سرعت قبل و بعد از محل نصب ایجاد می‌کند [۷]. مطالعات جدیدتر نیز اثرات چندبعدی اقدامات آرام‌سازی را بررسی کرده‌اند. برای مثال، در یک پژوهش نظام‌مند نشان داده شده است که آرام‌سازی ترافیک علاوه بر کاهش سرعت و تصادفات، سبب بهبود کیفیت زندگی، کاهش سروصدا و افزایش حرکت پیاده می‌شود [۸]. باتومن و همکاران با تحلیل داده‌های مکانی ـ زمانی به این نتیجه رسیدند که اقدامات آرام‌سازی در مناطق مسکونی باعث کاهش معنادار شدت آسیب‌ها در تصادفات می‌شود [۹]. نتایج مطالعهٔ آمبروس و همکاران نیز نشان داد هندسهٔ سرعت‌کاه‌ها (ارتفاع، شیب و فاصله‌گذاری) تأثیر چشمگیری بر سرعت عملکردی دارد و طراحی غیراستاندارد می‌تواند رفتارهای ناخواستهٔ رانندگان ایجاد کند [۱۰]. از سوی دیگر، نتایج پژوهش شاولی و همکاران نشان داد ترکیب آرام‌سازی فیزیکی با فناوری‌های نظارتی مانند دوربین‌های کنترل سرعت، اثر هم‌افزا دارد و سرعت‌های غیرمجاز را به طور پایدار کاهش می‌دهد [۱۱]. مرکز فدرال راه آمریکا (FHWA) نیز در چندین مطالعه گزارش کرده است که استفاده از سرعت‌گیرهای استاندارد می‌تواند سرعت ۸۵اُمین صدک را در محدوده‌های مسکونی بین ۸ تا ۱۵ کیلومتر بر ساعت کاهش دهد و یکی از ابزارهای مؤثر ایمنی عابر پیاده محسوب می‌شود [۱۲ ـ ۱۴]. مطالعات میدانی جدید در کشورهای درحال‌توسعه (مانند غنا، کنیا و هند) نیز بیانگر آن است که سرعت‌گیرهای استانداردشده می‌توانند تا ۴۰ درصد از تصادفات عابر پیاده بکاهند [۱۵ ـ ۱۶]. همچنین، مطالعات مروری جدید نشان می‌دهد فاصله‌گذاری مناسب بین سرعت‌کاه‌ها، عاملی تعیین‌کننده برای حفظ سرعت یکنواخت و کاهش ترمزهای ناگهانی است [۱۷]. به طور کلی، مرور نتایج پژوهش‌های اخیر نشان می‌دهد تجهیزات آرام‌سازی یکی از روش‌های مؤثر کاهش سرعت هستند، استاندارد بودن هندسه و محل نصب نقش کلیدی دارد و ترکیب آرام‌سازی با سایر اقدامات ایمنی نتایج بهتری ایجاد می‌کند.

روش پژوهش

فرایند اثرسنجی اقدامات آرام‌سازی ترافیک در این پژوهش بر اساس فلوچارت ارائه‌شده در شکل مربوطه تدوین شده و گام‌به‌گام تشریح می‌شود. در گام نخست و دوم، مفاهیم پایه، اهداف آرام‌سازی ترافیک و همچنین، انواع اقدامات رایج در شبکهٔ معابر شهری مورد بررسی قرار گرفت. آرام‌سازی ترافیک در واقع مجموعه‌ای از مداخلات کالبدی و مدیریتی است که با کاهش آثار منفی سرعت بالای وسایل نقلیه، به اصلاح رفتار رانندگان و ارتقای شرایط ایمنی کاربران آسیب‌پذیر ـ به‌ویژه عابران پیاده و دوچرخه‌سواران ـ کمک می‌کند. اجرای این اقدامات بیشتر در معابر شریانی، جمع و پخش‌کننده و محلی صورت می‌گیرد و هدف مشترک همهٔ آن‌ها، کاهش سرعت، مدیریت جریان عبور و ایجاد محیطی ایمن‌تر برای تردد است. با این‌حال، عملکرد هر اقدام تحت‌تأثیر عواملی از جمله ویژگی‌های توپوگرافی، ساختار شبکهٔ خیابان‌ها، عرض سواره‌رو، نحوهٔ پارک حاشیه‌ای، محل ورودی‌ها

و تقاطع‌ها، نوع وسایل نقلیه، شرایط اضطراری و حمل‌ونقل همگانی، میزان حضور عابر و دوچرخه‌سوار، شرایط آب‌وهوایی و ویژگی‌های جمعیتی و اجتماعی قرار دارد.

در گام سوم، مرور مطالعات فرادست انجام شد. بررسی‌ها نشان می‌دهد اغلب مطالعات داخلی بیشتر بر مراحل امکان‌سنجی و نحوهٔ اجرای ابزارهای آرام‌سازی متمرکز بوده‌اند و کمتر به تحلیل کمی اثرات پس از اجرا پرداخته‌اند. در مقابل، پژوهش‌های بین‌المللی چارچوب‌های دقیقی برای ارزیابی پسینی ارائه کرده‌اند که در مرحلهٔ چهارم مبنای شناسایی شاخص‌ها و معیارهای مناسب قرار گرفت. در ادبیات جهانی، دو معیار اصلی برای اثرسنجی اقدامات آرام‌سازی مطرح است: «فراوانی و شدت تصادفات» و «سرعت وسایل نقلیه». از آنجا که داده‌های تفصیلی تصادفات در این مطالعه به صورت کامل در دسترس نبود، معیار سرعت به عنوان شاخص جایگزین انتخاب شد که در بسیاری از پژوهش‌های معتبر نیز استفاده شده است.

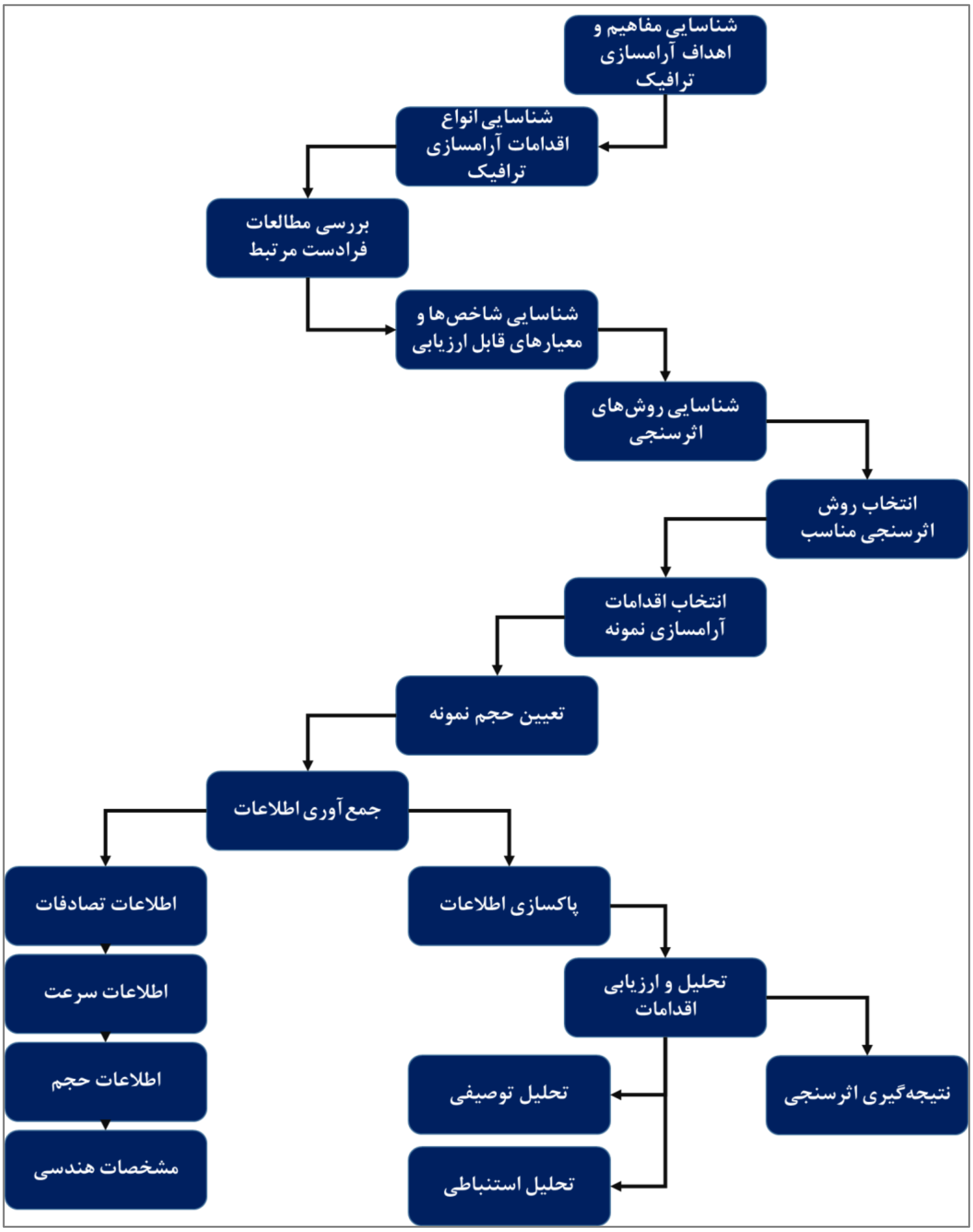
در گام بعد، روش اثرسنجی انتخاب شد. با توجه به ماهیت مطالعه، روش «قبل و بعد» به عنوان مناسب‌ترین رویکرد مورد استفاده قرار گرفت. در این روش، سرعت وسایل نقلیه در دو بازه زمانی ـ پیش از اجرای اقدام آرام‌سازی و پس از آن ـ برداشت می‌شود و مورد مقایسه قرار می‌گیرد. وجود تفاوت معنادار آماری میان سرعت‌های قبل و بعد نشان‌دهندهٔ تأثیرگذاری اقدام مورد نظر است. علاوه بر این، به منظور تحلیل دقیق‌تر، سرعت در فواصل مکانی مشخص قبل و بعد از اقدام نیز اندازه‌گیری شد تا الگوی تغییر سرعت و پروفیل کاهش یا افزایش آن در طول مسیر مشخص شود. برای مثال، در بسیاری از اقدامات، سرعت در فاصلهٔ حدود ۱۰۰ متر پیش از اقدام و در نقطه اجرای اقدام مقایسه شد تا اثر مستقیم اقدام بر سرعت عملکردی مشخص شود.

پس از انتخاب اقدامات نمونه و تعیین حجم برداشت سرعت، فرایند جمع‌آوری داده‌ها آغاز شد. حجم نمونه حداقل ۱۰ درصد از حجم عبوری در بازه برداشت در نظر گرفته شد. تلاش شد مجموعه‌ای متنوع از ابزارهای آرام‌سازی در نمونه‌ها لحاظ شود تا نتایج قابل تعمیم‌تر باشد. داده‌های میدانی شامل سرعت، حجم ترافیک، ویژگی‌های هندسی معبر و مشخصات هر اقدام آرام‌سازی برداشت شد. فواصل برداشت براساس رده عملکردی معبر تعیین شد: در معابر شریانی و جمع و پخش‌کننده فواصل ۸۰، ۶۰، ۴۰ و ۲۰ متر قبل و بعد اقدام و در بزرگراه‌ها فواصل ۲۰۰، ۱۰۰ و ۵۰ متر انتخاب شد. علاوه بر این، سرعت و حجم مستقیم روی اقدام نیز ثبت شد. برای اقداماتی که در خلال انجام مطالعه اجرا شده بودند، برداشت قبل از اجرا نیز در نقطهٔ مصوب صورت گرفت. داده‌های تصادفات نیز در موارد موجود از طریق استعلام از سازمان مربوطه اخذ شد.

پس از گردآوری داده‌ها، کلیهٔ اطلاعات وارد نرم‌افزار اکسل یا نرم‌افزارهای آماری مشابه شد و عملیات پاک‌سازی، حذف داده‌های پرت و آماده‌سازی اولیه روی آن‌ها انجام شد. تحلیل داده‌ها در دو بخش توصیفی و استنباطی سامان یافت. در بخش توصیفی، جد ول‌ها و نمودارهای توزیعی از سرعت و حجم تهیه شد، پروفیل سرعت برای هر اقدام ترسیم شد و براساس داده‌های حجم، سطح سرویس و شرایط جریان عبور بررسی شد تا اطمینان حاصل شد که برداشت سرعت در شرایط جریان آزاد انجام شده است.

در بخش تحلیل استنباطی، برای تمام اقدامات نمونهٔ آزمون t به عنوان ابزار مقایسهٔ میانگین دو گروه سرعت به کار گرفته شد تا اثر اقدام بر کاهش سرعت سنجیده شود. مقایسهٔ میانگین سرعت‌ها در نقطهٔ اقدام و در فاصلهٔ ۸۰ متر قبل از آن (و در بزرگراه‌ها ۲۰۰ متر قبل) مبنای اصلی اثرسنجی بود. برای اقداماتی که در میانهٔ دورهٔ مطالعه اجرا شده بودند، آزمون لوین برای مقایسهٔ واریانس سرعت‌ها پیش و پس از اجرا به کار رفت تا تغییرات ناهمگنی سرعت مشخص شود.

در نهایت بر اساس نتایج آزمون t و آزمون لوین، میزان اثرگذاری هر اقدام تعیین شد. در صورت اثبات معناداری آماری، مقدار اثر از طریق اختلاف میانگین سرعت‌ها محاسبه شد و به عنوان شاخص کمی کاهش سرعت و میزان کارایی اقدام مورد استفاده قرار گرفت.


شناسایی مفاهیم و اهداف آرامسازی ترافیک
شناسایی انواع اقدامات آرامسازی ترافیک
بررسی مطالعات فرادست مرتبط
شناسایی شاخص‌ها و معیارهای قابل ارزیابی
شناسایی روش‌های اثرسنجی
انتخاب روش اثرسنجی مناسب
انتخاب اقدامات آرامسازی نمونه
تعیین حجم نمونه
جمع آوری اطلاعات
پاکسازی اطلاعات
اطلاعات تصادفات
اطلاعات سرعت
اطلاعات حجم
مشخصات هندسی
تحلیل و ارزیابی اقدامات
نتیجه‌گیری اثرسنجی
تحلیل توصیفی
تحلیل استنباطی

شکل ۳. روش انجام پژوهش

جدول ۱. اقدامات آرام‌سازی نمونه برای اثرسنجی

ردیف	معبر پیشنهادی	مختصات جغرافیایی	شرح اقدام	نوع اقدام
۱	خیابان دماوند	35°43'16.2"N 51°30'39.9"E	سرعت‌کاه قوسی در خیابان دماوند مسیر شرق به غرب نزدیک تقاطع با خیابان علیپور (۱۰۹)	تغییر شکل عمودی
۲	خیابان دماوند	35°42'29.0"N 51°28'08.8"E	جان‌پناه عابر پیاده و سنگفرش بعد از چهارراه سبلان مسیر شرق به غرب خیابان دماوند در تقاطع با خیابان کیایی	کاهش عرض سواره‌رو و تغییر روسازی
۳	خیابان دماوند	35°42'28.6"N 51°28'08.4"E	جان‌پناه عابر پیاده و سرعتگیر پلاستیکی قبل از چهارراه سبلان مسیر غرب به شرق خیابان دماوند قبل تقاطع با خیابان یونسیان	کاهش عرض سواره‌رو و تغییر شکل عمودی
۴	خیابان دماوند	35°42'10.5"N 51°27'04.1"E	سرعت‌گیر پلاستیکی مسیر شرق به غرب خیابان دماوند قبل میدان امام حسین(ع) قبل کوچه طباطبائی	تغییر شکل عمودی
۵	خیابان دماوند	35°42'15.2"N 51°27'22.6"E	نوار لرزاننده در مسیر غرب به شرق خیابان دماوند در نزدیکی رمپ ورودی شمال به جنوب بزرگراه امام علی(ع)	تغییر روسازی و خط‌کشی

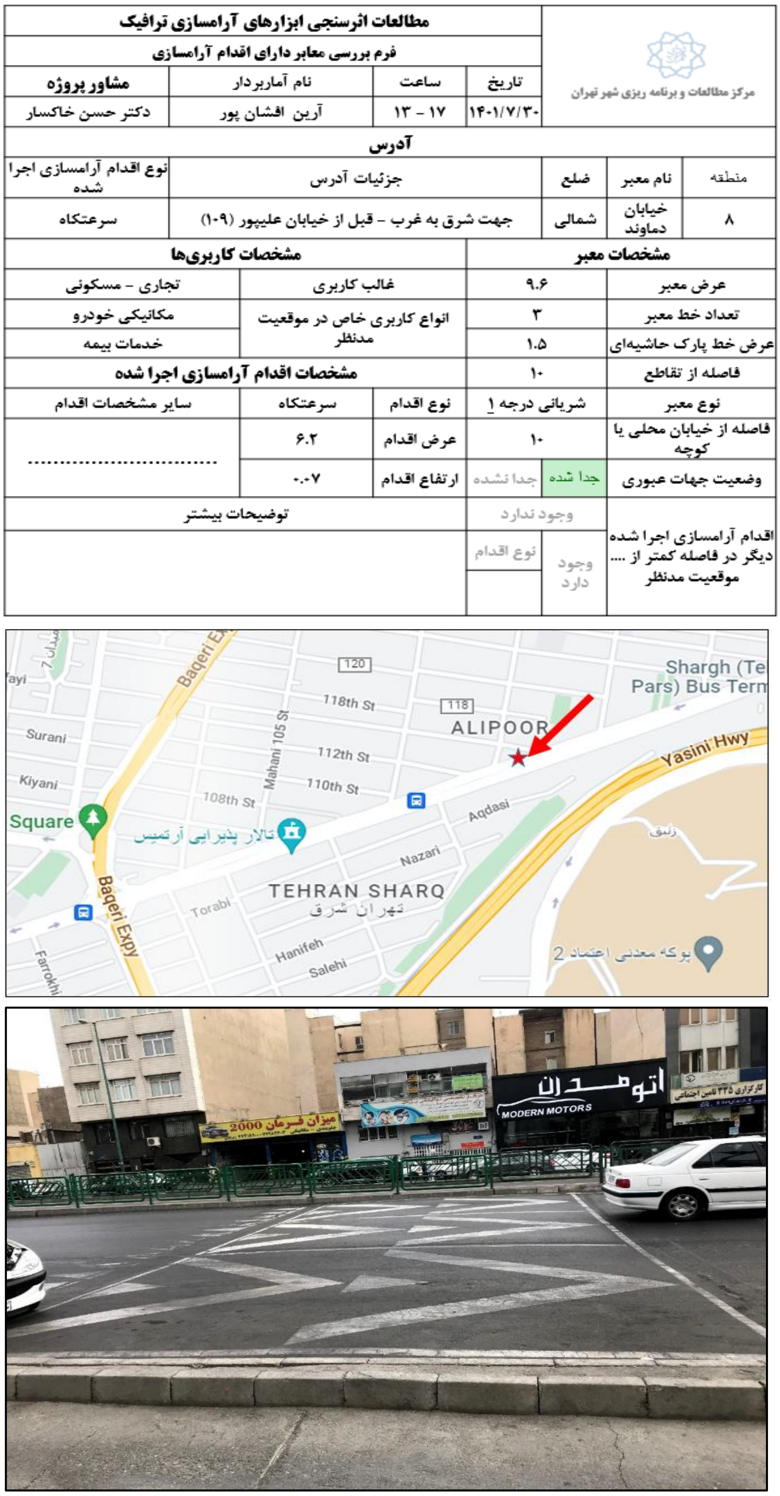
جمع‌آوری اطلاعات

فرایند گردآوری اطلاعات در این پژوهش بر دو گروه اصلی داده‌ها استوار است: ۱) سرعت وسایل نقلیه؛ ۲) ویژگی‌ها و شرایط هندسی معبر. داده‌های مربوط به سرعت از طریق اندازه‌گیری میدانی سرعت لحظه‌ای خودروها به وسیلهٔ سرعت‌سنج لیزری ثبت شد و بخش قابل توجهی از اطلاعات هندسی و محیطی مسیر نیز از طریق بازدید میدانی و مطالعهٔ نقشه‌ها و مستندات موجود تأمین شد. در عملیات برداشت سرعت، از سرعت نقطه‌ای وسایل نقلیهٔ سواری استفاده شد و برای حصول دقت بیشتر، مجموعه‌ای از اصول و ملاحظات زیر رعایت شد: اندازه‌گیری سرعت فقط در روشنایی روز انجام شد تا خطای ناشی از شرایط نوری کاهش یابد. پژوهشگر عملیات سرعت‌سنجی را به صورت نامحسوس انجام داد تا رفتار رانندگان تحت تأثیر آگاهی از کنترل سرعت قرار نگیرد؛ زیرا توجه رانندگان به پایش سرعت ممکن است باعث کاهش غیرواقعی سرعت‌های ثبت‌شده شود. ثبت سرعت تنها در شرایط جریان آزاد انجام گرفت. به این‌منظور حداقل سرفاصلهٔ زمانی خودرو مورد سنجش با خودروی جلویی ۵ ثانیه تعیین شد تا اثر ترافیک متراکم بر داده‌ها حذف شود. جامعهٔ مورد مطالعه شامل خودروهای سبک سواری بود و از ثبت سرعت خودروهای باری سبک و وسایل نقلیهٔ سنگین به دلیل رفتار متفاوت در رانندگی و همچنین، سهم ناچیز حضور آن‌ها در زمان برداشت داده، صرف‌نظر شد. به منظور اثرسنجی هر اقدام آرام‌سازی، سرعت وسایل نقلیه در چهار مقطع قبل (تقریباً ۲۰، ۴۰، ۶۰ و ۸۰ متر)، نقطه نصب اقدام و چهار مقطع بعد (۲۰، ۴۰، ۶۰ و ۸۰ متر) اندازه‌گیری شد. برای هر مقطع، داده‌ها طی ۳۰ دقیقه و در قالب دو بازه ۱۵ دقیقه‌ای برداشت شد. در ادامه، نتایج سرعت‌ها با استفاده از آزمون‌های آماری پارامتری از جمله آزمون t تحلیل شد. با هدف ثبت سرعت در شرایط جریان آزاد، برداشت داده‌ها در خیابان دماوند و در بازه زمانی ۷ تا ۱۲ صبح روز جمعه انجام شد؛ زمانی که ترافیک به کمترین میزان خود رسیده و امکان دستیابی به سرعت‌های آزاد فراهم است. حجم نمونه در هر مقطع بین ۱۲۰ تا ۱۷۰ خودرو بود که بیش از حداقل حجم مورد نیاز یعنی ۱۰ درصد حجم عبوری نیم‌ساعته است. از آنجا که تمام نقاط نمونه در یک معبر واحد (خیابان دماوند) واقع شده‌اند، ویژگی‌های هندسی و محیطی آن‌ها مشابه فرض شد؛ بنابراین اثر تفاوت‌های هندسی در مقایسهٔ سرعت نقاط مختلف قابل اغماض است و تحلیل‌ها تنها بر مبنای تغییرات سرعت ناشی از اقدامات آرام‌سازی انجام گرفت. در این پژوهش، به منظور نزدیک شدن به شرایط جریان آزاد، تنها وسایل نقلیه‌ای انتخاب شدند که فاصلهٔ زمانی آن‌ها با خودروی جلویی بیش از ۵ ثانیه بوده است. این تعریف مطابق با دستورالعمل‌های مرجع در تعیین سرعت جریان آزاد در منابعی نظیر Manual Highway Capacity در نظر گرفته شده است. همچنین، برای کاهش اثر وسایل نقلیهٔ سنگین، داده‌های مربوط به این وسایل از تحلیل حذف شد. به منظور اطمینان از کفایت حجم نمونه، تحلیل توان آزمون انجام شد. با فرض اختلاف میانگین ۵ km/h و انحراف معیار ۱۰ km/h، حداقل حجم نمونه مورد نیاز در سطح اطمینان ۹۵ درصد و توان ۸۰ درصد برابر با ۶۴ مشاهده در هر گروه برآورد شد. لذا حجم نمونهٔ مورد استفاده در این پژوهش کفایت آماری لازم را دارد. با توجه به محدودیت دسترسی به داده‌های تصادفات، از سرعت به عنوان شاخص جانشین ایمنی استفاده شد. درخور توجه است که رابطه بین سرعت و ایمنی در این پژوهش به صورت مستقیم کالیبره نشده و استفاده از مدل‌های موجود فقط در چارچوب نظری انجام شده است.

تحلیل اطلاعات

اطلاعات سرعت وسایل نقلیه در ۹ قطعهٔ مختلف از محدودهٔ نصب اقدامات آرام‌سازی جمع‌آوری و در نمودارهای مربوطه نمایش داده شده است. بررسی نمودارها نشان می‌دهد با نزدیک شدن به محل نصب اقدامات، تقریباً تمامی ابزارهای آرام‌سازی مورد مطالعه ـ به‌جز نوار لرزاننده ـ کاهش قابل توجهی در سرعت وسایل نقلیه ایجاد کرده‌اند. نوار لرزاننده نسبت به سایر اقدامات کمترین اثر را بر کاهش سرعت داشته است، در حالی که بیشترین کاهش سرعت در قطعه روی اقدام به‌ترتیب به سرعت‌گیر پلاستیکی، جزیرهٔ میانی همراه با سرعت‌گیر پلاستیکی، سنگفرش همراه با جزیرهٔ میانی و سرعت‌کاه قوسی تعلق دارد. علاوه بر این، تحلیل شیب نمودارها نشان می‌دهد شروع کاهش سرعت برای اقدامات مؤثر از فاصله تقریباً ۶۰ متر پیش از محل نصب آغاز می‌شود و این روند تا نقطهٔ اجرای اقدام ادامه می‌یابد. پس از عبور وسیله نقلیه از اقدام آرام‌سازی، شیب نمودار مثبت شده و افزایش مجدد سرعت مشاهده می‌شود. شایان یادآوری است که شیب کاهش سرعت در نقاط پیش از اقدام، بیشتر از شیب

افزایش سرعت در نقاط پس از اقدام است؛ این موضوع نشان می‌دهد کاهش سرعت در فاصله‌ای کوتاه‌تر و سریع‌تر اتفاق می‌افتد، در حالی که بازگشت به سرعت اولیه به‌تدریج صورت می‌گیرد. نتایج حاصل از این تحلیل، اثربخشی نسبی اقدامات آرام‌سازی و نیز الگوی تغییر سرعت رانندگان در مواجهه با هر اقدام را مشخص می‌کند و می‌تواند به عنوان مبنایی برای انتخاب بهینهٔ ابزارها و طراحی فاصلهٔ مناسب نصب اقدامات آرام‌سازی در معابر شهری مورد استفاده قرار گیرد. پیش از انجام آزمون t، برابری واریانس‌ها با استفاده از آزمون Levene بررسی شد و در موارد عدم برابری، از آزمون t با اصلاح Welch استفاده شد.



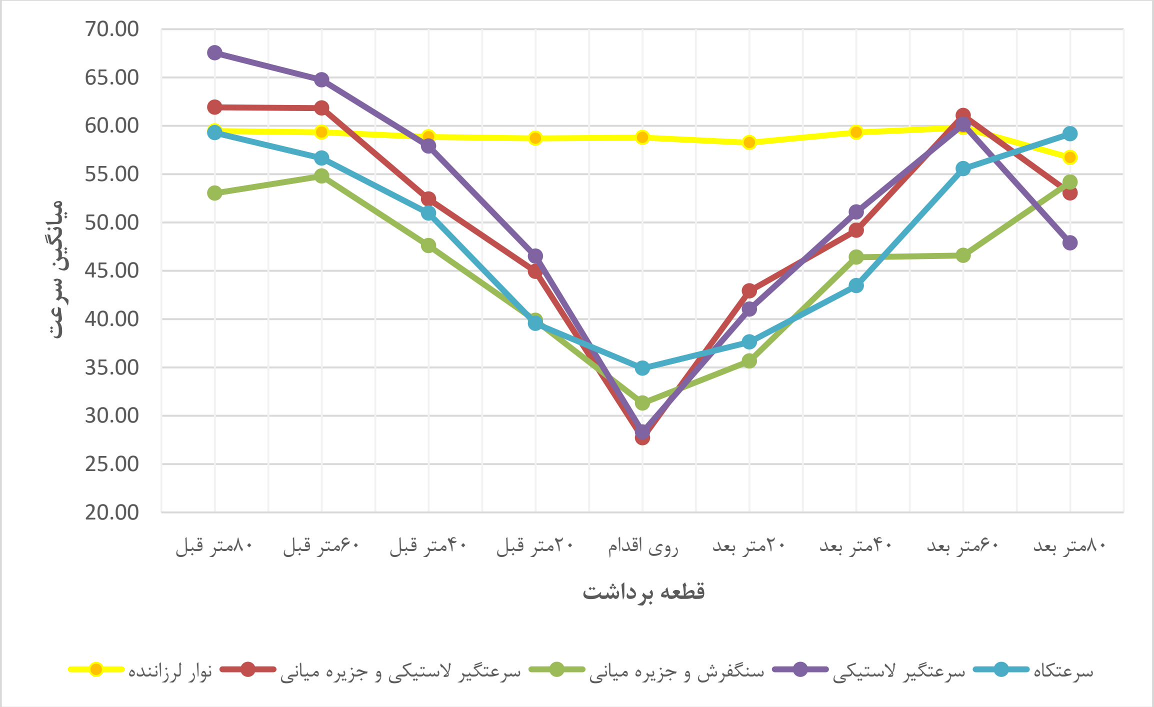
مرکز مطالعات و برنامه ریزی شهر تهران	مطالعات اثرسنجی ابزارهای آرامسازی ترافیک			
	فرم بررسی معابر دارای اقدام آرامسازی			
	تاریخ	ساعت	نام آماربردار	مشاور پروژه
	۱۴۰۱/۷/۳۰	۱۷ – ۱۳	آرین افشان پور	دکتر حسن خاکسار

آدرس				
منطقه	نام معبر	ضلع	جزئیات آدرس	نوع اقدام آرامسازی اجرا شده
۸	خیابان دماوند	شمالی	جهت شرق به غرب – قبل از خیابان علیپور (۱۰۹)	سرعتکاه

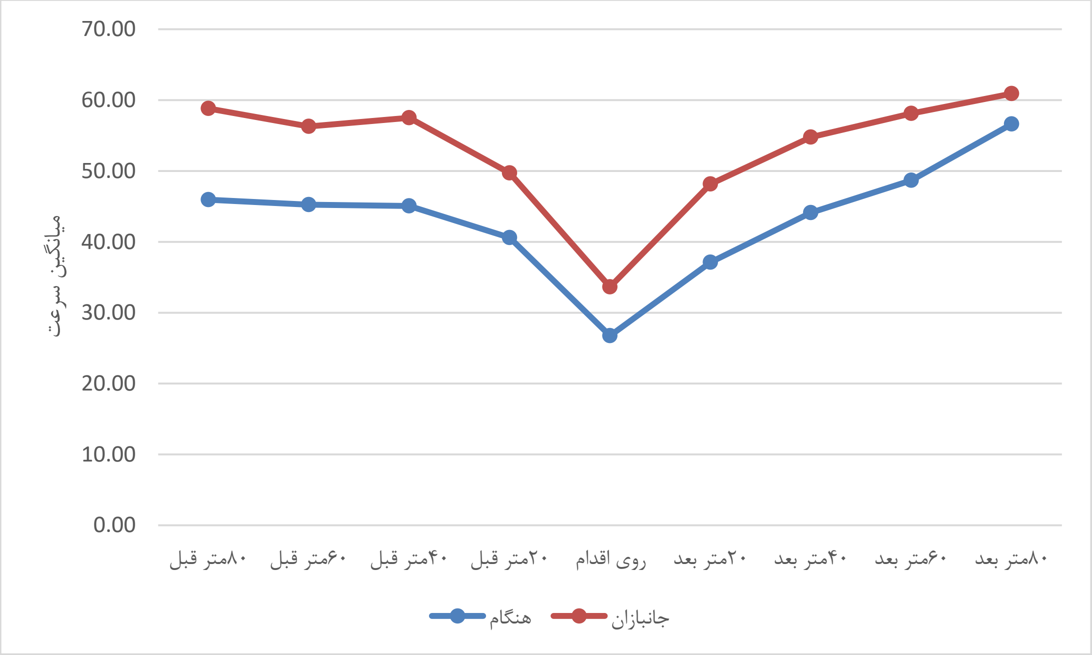
مشخصات معبر			مشخصات کاربری‌ها	
عرض معبر	۹.۶		غالب کاربری	تجاری – مسکونی
تعداد خط معبر	۳		انواع کاربری خاص در موقعیت مدنظر	مکانیکی خودرو
عرض خط پارک حاشیه‌ای	۱.۵			خدمات بیمه
فاصله از تقاطع	۱۰		مشخصات اقدام آرامسازی اجرا شده	
نوع معبر	شریانی درجه ۱		نوع اقدام	سرعتکاه	سایر مشخصات اقدام
فاصله از خیابان محلی یا کوچه	۱۰		عرض اقدام	۶.۲	....
وضعیت جهات عبوری	🟩 جدا شده	جدا نشده	ارتفاع اقدام	۰.۰۷	
اقدام آرامسازی اجرا شده دیگر در فاصله کمتر از .... موقعیت مدنظر	وجود ندارد		توضیحات بیشتر	
	وجود دارد	نوع اقدام		

Baqeri Expy
120
118th St
118
ALIPOOR
Shargh (Te
Pars) Bus Term
Surani
Mahani 105 St
112th St
Kiyani
110th St
108th St
Yasini Hwy
Square
تالار پذیرایی آرتمیس
Aqdasi
Nazari
TEHRAN SHARQ
تهران شرق
Torabi
Hanifeh
Salehi
Farrokhi
پوکه معدنی اعتماد 2
اتومدران
MODERN MOTORS
میزان فرمان 2000
کارگزاری ۳۳۵ تامین اجتماعی

شکل ٤. نمونهٔ فرم جمع‌آوری اطلاعات

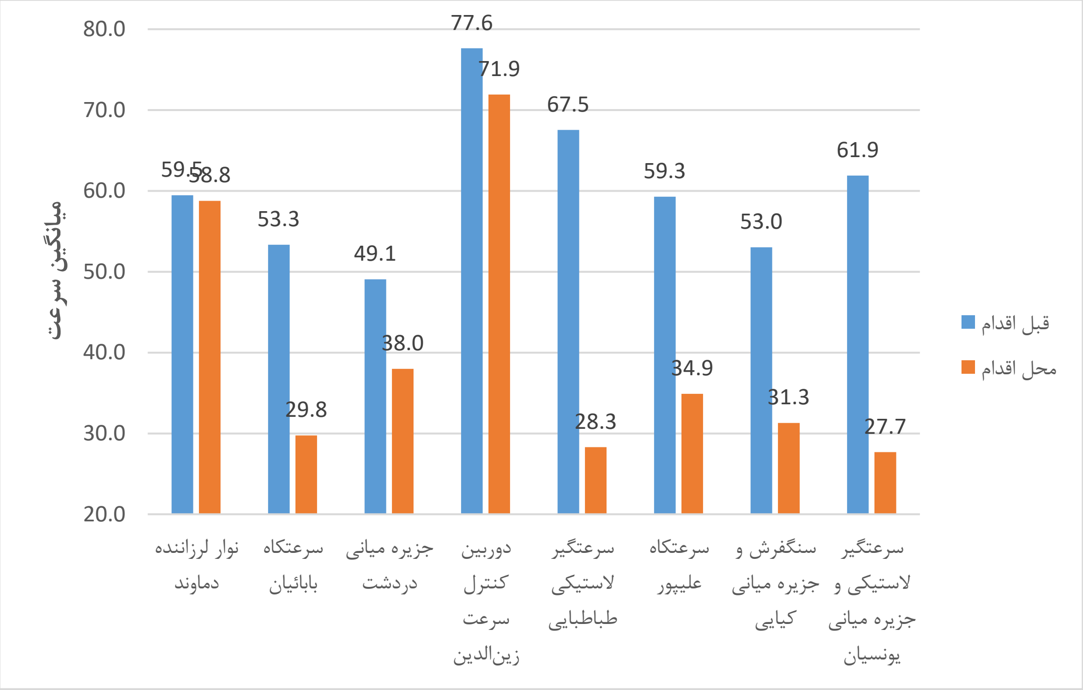


شکل ۵. سرعت وسایل نقلیهٔ نمونه در نقاط قبل، محل و بعد اقدامات آرام‌سازی



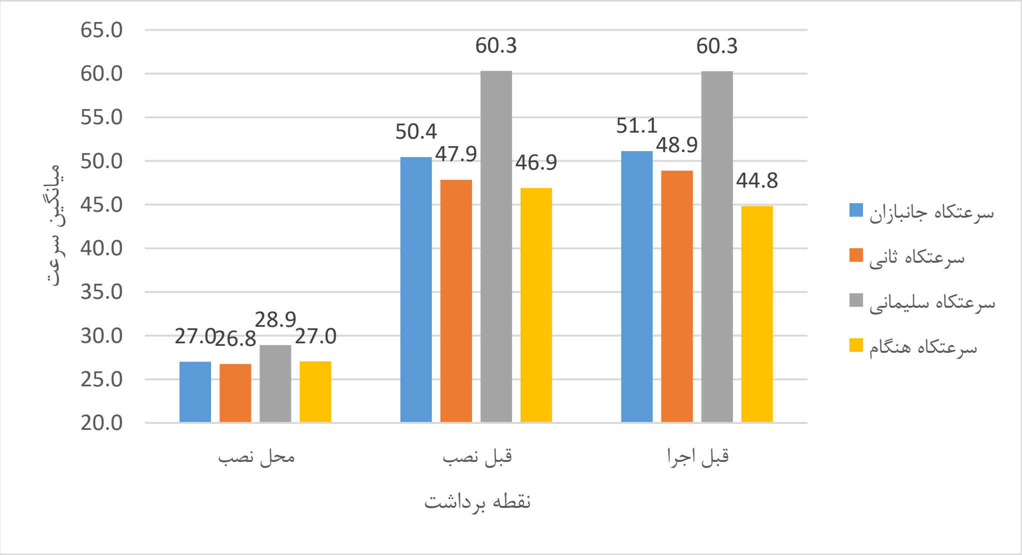
شکل ٦. پروفیل سرعت موتورسیکلت در محدودهٔ سرعت‌کاه‌های نمونه

با توجه به اینکه بیشترین تأثیر اقدام آرام‌سازی بر سرعت تردد وسایل نقلیه در محل نصب آن رخ می‌دهد، برای اثرسنجی اقدامات، از مقایسهٔ میانگین سرعت‌ها برای دو در قطعهٔ قبل و محل نصب اقدام استفاده شده است. در صورتی که واریانس دو گروه یادشده براساس آزمون لوین تفاوت معناداری با یکدیگر نداشته باشند از آزمون t آمیخته (مستقل) و در صورت وجود تفاوت معنادار از گروه مستقل آزمون t با واریانس‌های نابرابر استفاده شد. در شکل ۷ نیز میانگین سرعت‌ها برای دو نقطهٔ قبل و محل به تفکیک اقدامات آرام‌سازی نشان داده شده است.

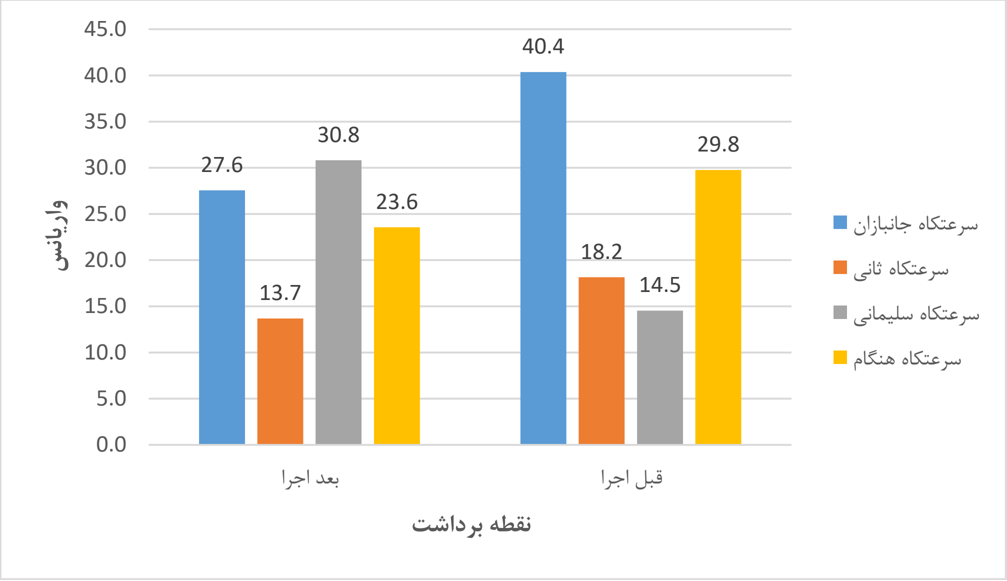


شکل ۷. میانگین سرعت‌ها برای دو نقطه قبل و محل به تفکیک اقدامات آرام‌سازی

براساس سطح معناداری آزمون لوین، برای مقایسهٔ میانگین سرعت‌ها در دو اقدام سرعت‌کاه قوسی و سرعت‌گیر پلاستیکی به همراه جزیرهٔ میانی از آزمون t با واریانس نابرابر و برای سه اقدام دیگر، یعنی سنگفرش به همراه جزیرهٔ میانی، سرعت‌گیر پلاستیکی و نوار لرزاننده، به دلیل عدم رد شدن فرض برابری واریانس‌ها از آزمون t مستقل استفاده شده است. در ادامه، براساس نتایج آزمون‌های t به غیر از نوار لرزاننده در سایر اقدامات آرام‌سازی بین میانگین سرعت‌های نقطهٔ قبل (حدود ۸۰ متر) و محل نصب تفاوت معناداری تشخیص داده شده است.



شکل ۸. مقایسهٔ میانگین سرعت‌های برداشتی در سه نقطهٔ قبل اجرا، قبل اقدام بعد اجرا و محل نصب اقدام



شکل ۹. مقایسهٔ واریانس سرعت‌های برداشتی در نقطهٔ احداث سرعت‌کاه قبل و بعد اجرا

نتیجه‌گیری

در این پژوهش به بررسی آثار به‌کارگیری ابزار مختلف آرام‌سازی ترافیک بر کاهش سرعت تردد خودروها پرداخته شده است. مهم‌ترین یافته‌ها و خروجی‌ها در خصوص میزان کاهش سرعت تردد خودروها در معیارهای مختلف بررسی شده در ادامه مرور شده است. سرعت در تمامی اقدامات نسبت به قبل اقدام (۲۰۰ متر برای دوربین کنترل سرعت و ۸۰ متر برای سایر اقدامات) کاهش یافته است. بر اساس منابع بین‌المللی، فاصلهٔ بهینهٔ بین اقدامات آرام‌سازی معمولاً در بازه ۱۰۰ تا ۱۵۰ متر توصیه شده است. در این پژوهش، این مقدار به صورت تجربی بررسی نشده و فقط به عنوان راهنمای طراحی ارائه می‌شود. براساس نتایج آزمون t مستقل این مقدار کاهش یافته برای تمام اقدامات (به استثنای نوار لرزاننده) معنادار تشخیص داده شده؛ به گونه‌ای که می‌توان استدلال کرد تمام اقدامات آرام‌سازی تحت بررسی (به استثنای نوار لرزاننده) روی سرعت تردد تأثیرگذار بوده‌اند. باید در نظر داشت عملکرد نوار لرزاننده به مشخصات فنی آن وابسته بوده و در این پژوهش، نوع خاصی از این ابزار بررسی شده است؛ لذا تعمیم نتایج به سایر انواع با احتیاط صورت گیرد. میانگین سرعت‌ها در قبل و محل نصب نوار لرزاننده نیز کمترین تغییر را نسبت به یکدیگر داشته‌اند؛ براساس نتایج آزمون t مستقل این تغییر اندک نیز معنادار تشخیص داده نشده است. سرعت‌گیر لاستیکی به همراه جزیرهٔ میانی، سرعت‌گیر لاستیکی، سرعت‌کاه، سنگفرش به همراه جزیرهٔ میانی بیشترین میزان کاهش در میانگین سرعت متوسط خودروها را داشته‌اند. سرعت‌گیر لاستیکی، سرعت‌گیر لاستیکی به همراه جزیرهٔ میانی، سرعت‌کاه، سنگفرش به همراه جزیرهٔ میانی و جزیرهٔ میانی تنها بیشترین کاهش سرعت را بین نقطهٔ قبل (نقطهٔ آزاد از تأثیر اقدام آرام‌سازی) و روی اقدام ایجاد کرده‌اند. با توجه به نتایج مدل‌سازی‌های انجام‌شده و بررسی و تحلیل‌های انجام‌شده نکات زیر به عنوان خروجی‌های اصلی این مطالعه مطرح می‌شود: بر اساس قضاوت کیفی، استفاده از دوربین کنترل سرعت در معابر با ردهٔ عملکردی بزرگراه بهینه بوده و در سایر معابر با رده عملکردی پایین‌تر از منظر هزینه به منفعت صرفهٔ اقتصادی ندارد. به‌کارگیری ترکیبی از چند اقدام آرام‌سازی تأثیر بیشتری بر سرعت خواهد داشت. در صورت نیاز به کاهش سرعت در بازه‌های فاصله‌ای با مسافت بالا (بیشتر از ۱۰۰ متر) توصیه می‌شود از سنگفرش یا برای هزینهٔ کمتر از سرعت‌کاه‌ها یا سرعت‌گیرهای متوالی استفاده شود. اقدام جزیرهٔ میانی در ترکیب با سایر اقدامات عملکرد بهتری دارد. پیشنهاد می‌شود از سرعت‌گیر لاستیکی به همراه جزیرهٔ میانی استفاده شود. به طور کلی، به دلیل بالا بودن هزینهٔ اجرای سنگفرش، این اقدام نسبت به سایر اقدامات در اولویت قرار نمی‌گیرد. توجه شود که نوار لرزاننده به‌تنهایی یک اقدام هشداردهنده بوده و باید برای آرام‌سازی در ترکیب با سایر اقدامات آرام‌سوز به کار گرفته شود، زیرا به‌تنهایی بر سرعت تأثیری نخواهد داشت. عدم آشکارسازی سرعت‌کاه‌ها و سرعت‌گیرها به وسیلهٔ تابلو و رنگ‌آمیزی می‌تواند موجب تخریب رویه آسفالتی قبل و بعد این اقدامات به دلیل ترمزهای سنگین شود. به جهت اینکه

سرعت‌گیرها و سرعت‌کاه‌ها به موتورسیکلت و دوچرخه آسیب بیشتری می‌توانند وارد کنند از به‌کارگیری این اقدامات در معابر با تردد بالای این نوع وسایل نقلیه تا حد ممکن خودداری شود. اقدامات آرام‌سازی طبق جلد ششم آیین‌نامهٔ طراحی معابر شهری باید در معابر با رده عملکردی مختص به خود اجرا شود، در صورت عدم رعایت این نکتهٔ اقدام آرام‌ساز نتیجهٔ عکس می‌تواند داشته باشد. از جمله محدودیت‌های این پژوهش می‌توان به عدم بررسی اثرات سرریز ترافیک در معابر مجاور، عدم تحلیل سرعت پس از عبور از اقدام، و محدود بودن داده‌های موتورسیکلت اشاره کرد.

منابع

1. Nilsson G, Traffic safety dimensions and the power model to describe the effect of speed on safety, Bulletin 221, Lund Institute of Technology, Lund, 2004. Available from: https://lup.lub.lu.se/search/files/4394446/1693353.pdf
2. Elvik R, Speed and road safety; new models, TOI report 2014/1296, Institute of Transport Economics TOI, Oslo, 2014. Available from: https://www.toi.no/getfile.php/1335303-1394518314/Publikasjoner/T%C3%98I%20rapporter/2014/1296-2014/1296-2014-Sum.pdf
3. Rahimy A, Abbasy V, Evaluating the effect of speed reduction devices on reducing traffic accidents", The 7th National Congress of Civil Engineering, Zahdedan, Iran, 2014 (In Persian).
4. Wahed, T, Hashim, I, "Effect of speed hump characteristics on pavement condition", Journal of traffic and transportation engineering Volume 4, Issue 1, February 2017, Pages 103-110, 2017. Available from: https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2095756416300216
5. Gitelman W, Carmel R, Pesahov F, Chen S, Changes in road-user behaviors following the installation of raised pedestrian crosswalks combined with preceding speed humps on urban arterials, Transportation Research Part F: Psychology and Behaviour, Volume 46, pp. 356-372, 2016 .Available from: https://ui.adsabs.harvard.edu/abs/2017TRPF...46..356G/abstract
6. Moreno A, García, A, Use of speed profile as surrogate measure: Effect of traffic calming devices on crosstown road safety performance, Accident Analysis & Prevention, 61, pp.23-32, 2011. Available from: https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0001457512003697
7. Hassani Nasab Sh, Sharify Rad A, Zahedy M, The effect of calming measures on the speed of traffic flow with use From statistical methods, Transportation Research Journal, Vol 56, 2020.
8. Rizzi M, Khabat A, Johan S, Fredriksson R, Kullgren, A, The safety effect of increased pedestrian protection, autonomous emergency braking for pedestrians and bicyclists on passenger cars, and speed management, Traffic Safety Research, 6, e000046. Available from: https://doi.org/10.55329/hbtq4489.
9. Batomen B, Cloutier M, Carabali, M, Hagel B, Howard A, Rothman L, Perreault S, Brown P, Ruggiero E, Bondy S, Traffic-Calming Measures and Road Traffic Collisions and Injuries: A Spatiotemporal Analysis, Am J Epidemiol. 2024 May 7;193(5):707-717, Available from: doi: 10.1093/aje/kwad136, 2024.
10. Ambros J, Tomešová L, Jurewicz C, Valentová V. A review of the best practice in traffic calming evaluation. Accid Anal Prev. 2023 Sep; 189:107073. Available from: doi: 10.1016/j.aap.2023.107073. Epub 2023 May 29. PMID: 37257356.
11. Shwaly S, Osman R, El-Ayaat A, Assessing Multifaceted Effects of Speed Humps and Bumps: Travel Time, Safety, and Environmental Considerations, Civil Engineering Journal, Available from: https://doi.org/10.28991/CEJ-2024-010-07-07
12. FHWA Office of safety Web site, "Focused Approach to safety- purpose of the Focused Approach". Available from: http://safety.fhwa.dot.gov/fas
13. The Effects of Traffic Calming Measures on Pedestrian and Motorist Behavior, Publication Number: FHWA-RD-00-104, Date: August 2001. Available from: https://pdhonline.com/courses/c269/FHWA_RD_00_104.pdf
14. Traffic Calming: State of the Practice. U.S. Federal Highway Administration (FHWA) report, Last Updated (Year): 2016. Available from: https://books.google.com/books/about/Traffic_Calming.html?id=oH0sAQAAMAAJ
15. Damsere-Derry J, Ebel B, Mock C, Afukaar F, Donkor P, Kalowole T, Evaluation of the effectiveness of traffic calming measures on vehicle speeds and pedestrian injury severity in Ghana, Traffic Inj Prev. 2019; 20(3): 336–342. Available from: doi:10.1080/15389588.2019.1581925.
16. Alahwal A, Elkousy O, The Production of Traffic Calming and Permeability in Historic Cairo's Open Spaces, Public Space in Cairo and Khartoum., Special Feature, 2024. Available from: https://journals.openedition.org/esma/698?lang=en
17. Alshabibi N, An Impact Assessment of Speed Humps' Geometric Characteristics and Spacing on Vehicle Speed: An Overview, infrustructures, 2025, 10, 190. Available from: https://doi.org/10.3390/infrastructures10070190.