

تحلیل و ارزیابی هزینه‌های مستقیم اقتصادی رانندگی با سرعت غیرمجاز در مقایسه با سرعت مجاز (مطالعه موردی: آزادراه تهران-قم)

مقاله علمی - پژوهشی

*شهاب حسن پور (نویسنده مسئول)، استادیار، گروه مهندسی عمران، دانشگاه آیت الله بروجردی، بروجرد، ایران

علی مومنی یزدی، دانشجوی دکتری، مدیریت ایمنی ترافیک، دانشگاه جامع علوم انتظامی امین، تهران، ایران

فریبا شایگان، استاد، گروه علوم اجتماعی، دانشگاه جامع علوم انتظامی امین، تهران، ایران

سید تیمور حسینی، دانشیار، مدیریت راهبردی، دانشگاه علوم انتظامی امین، تهران، ایران

*پست الکترونیکی نویسنده مسئول: sh.hassanpour@abru.ac.ir

دریافت: ۱۴۰۵/۰۲/۰۱ - پذیرش: ۱۴۰۵/۰۵/۰۵

صفحه ۲۹۲-۲۷۷

چکیده

این مقاله به تحلیل مقایسه‌ای هزینه‌های مستقیم اقتصادی ناشی از رانندگی با سرعت غیرمجاز در مقابل سرعت مجاز، به طور خاص در شبکه آزادراهی می‌پردازد. با تمرکز بر چهار شاخص کلیدی مصرف سوخت، استهلاک خودرو، هزینه جریمه‌های تخلفات رانندگی و هزینه‌های ناشی از آلودگی هوا، این پژوهش نشان می‌دهد که انتخاب سرعت غیرمجاز در آزادراه‌ها، تصمیمی به شدت پرهزینه برای راننده است. با بهره‌گیری از روش تحقیق توصیفی-تحلیلی و بررسی داده‌های فنی و اقتصادی مربوط به آزادراه‌ها، نتایج به وضوح حاکی از آن است که رانندگی با سرعت مجاز ۱۲۰ کیلومتر بر ساعت در مقایسه با سرعت‌های بالاتر (مثلاً ۱۵۰ کیلومتر بر ساعت)، منجر به صرفه‌جویی قابل توجهی در هزینه‌های سوخت، آلودگی، استهلاک قطعات حساس خودرو و جریمه‌های سنگین، به مبلغی بیش از ۲۸۰۰۰۰۰ تومان می‌شود. این مقاله نتیجه می‌گیرد که حتی در بستر آزادراه که امکان سرعت بالا فراهم است، تخطی از حد مجاز ۱۲۰ کیلومتر بر ساعت از نظر اقتصادی به صرفه نیست و رانندگی در چارچوب قانون، به نفع اقتصاد خانوار است.

واژه‌های کلیدی: هزینه‌های مستقیم اقتصادی رانندگی، سرعت غیرمجاز، سرعت مجاز، آزادراه

۱- مقدمه

مصرف انرژی کشور را به خود اختصاص داده است. همچنین، وابستگی شدید این بخش به سوخت‌های فسیلی و مصرف بالای آن، بار مالی سنگینی را بر اقتصاد کشور تحمیل می‌کند (مرکز پژوهش‌های مجلس شورای اسلامی، ۱۴۰۰). شبکه آزادراهی ایران با طول بیش از ۲۲۰۰ کیلومتر، به عنوان شریان اصلی حمل و نقل بین‌شهری کشور، نقش حیاتی در اقتصاد ایران ایفا می‌کند (گزارش شرکت ساخت و توسعه زیربناهای حمل و نقل ایران، ۱۴۰۱). با این حال، این شبکه با چالش‌های متعددی از جمله

سیستم‌های حمل‌ونقلی مدرن با چالش جدی تأمین پایداری اقتصادی و زیست محیطی مواجه هستند. بر اساس گزارش سازمان جهانی انرژی، بخش حمل‌ونقل مسئول ۲۴٪ از انتشار مستقیم دی‌اکسیدکربن ناشی از سوخت‌های فسیلی است که سهم قابل توجهی از آن مربوط به حمل‌ونقل جاده‌ای می‌باشد (IEA, 2022). در این میان، سرعت خودروها به عنوان یکی از عوامل تعیین‌کننده در مصرف سوخت و انتشار آلاینده‌ها شناخته می‌شود. در کشور ما، بخش حمل‌ونقل حدود ۲۵٪ از کل

دهد، مشاهده نشده است. این پژوهش در صدد پر کردن این شکاف دانشی است از این رو هدف از انجام پژوهش حاضر: الف) کمی‌سازی هزینه‌های مستقیم اقتصادی سرعت غیرمجاز در آزادراه‌ها.

ب) مقایسه اقتصادی دو سناریوی سرعت مجاز و غیرمجاز. ج) ارائه راهکارهای عملی برای کاهش هزینه‌های مستقیم اقتصادی می‌باشد و این پژوهش به دنبال پاسخ این پرسش است که "هزینه‌های مستقیم اقتصادی در رانندگی با سرعت غیرمجاز (بالتر از ۱۲۰ کیلومتر بر ساعت) در مقایسه با رانندگی با سرعت مجاز (۱۲۰ کیلومتر بر ساعت) در شبکه آزادراه‌ها چقدر است؟"

۲- پیشینه تحقیق

سرعت خودروها به عنوان یکی از عوامل مهم تعیین‌کننده در افزایش هزینه‌های مستقیم اقتصادی رانندگی از جمله مصرف سوخت و انتشار آلاینده‌ها شناخته می‌شود. بنابر قسمت دوم ماده ۱۲۶ آیین نامه راهنمایی و رانندگی، سرعت مجاز در آزادراه‌ها ۱۲۰ کیلومتر در ساعت می‌باشد و بر همین اساس به رانندگی با سرعتی فراتر از حد مجاز یعنی سرعت بالاتر از ۱۲۰ کیلومتر بر ساعت، سرعت غیر مجاز اطلاق می‌شود. با توجه به هدف تحقیق که تحلیل و ارزیابی هزینه‌های مستقیم اقتصادی رانندگی با سرعت غیرمجاز در مقایسه با سرعت مجاز در آزادراه‌ها می‌باشد، برخی اصطلاحات از جمله متغیرهای ورودی و خروجی باید تعریف شوند. متغیرهای ورودی مقادیری کمی هستند که در اندازه‌گیری هزینه زمانی سرعت‌های تعیین شده به عنوان داده در نظر گرفته می‌شوند. متغیرهای خروجی نیز مقادیری کمی هستند که نتایج فعالیت را نشان می‌دهند. مدیران و مسئولان می‌توانند با استفاده از این شاخص‌ها، هزینه‌های اقتصادی رانندگی با سرعت غیر مجاز در آزادراه‌ها را نسبت به حداکثر سرعت مجاز اندازه‌گیری کنند. متغیرهای ورودی این تحقیق عبارتند از داده‌ها و اطلاعات پایه خودروی تارا اتوماتیک پلاس در شرایط محیطی ثابت در مورد هزینه‌های ۴ گانه (سوخت، آلودگی، جریمه و استهلاک) در سرعت مبنا (۱۲۰ کیلومتر بر ساعت) متغیرهای خروجی نیز عبارتند از: میزان هزینه‌های ۴ گانه خودروی تارا اتوماتیک پلاس در سرعت‌های تعیین شده. هزینه زمانی: هزینه زمانی یک شاخص اقتصادی-مهندسی است که نرخ نهایی مبادله بین پول و زمان را بیان می‌کند. به عبارت دقیق‌تر، هزینه زمانی مقدار هزینه اضافی پرداختی به ازای هر

مصرف بالای سوخت، استهلاک سریع زیرساخت‌ها و آلودگی زیست محیطی روبرو است. رفتار رانندگان به عنوان کاربران شبکه راه‌ها، تأثیر مستقیمی بر شاخص‌های کلان می‌گذارد. یکی از مهم‌ترین مصادیق رفتار رانندگی، تصمیم برای رانندگی با سرعت غیرمجاز است. آزادراه‌ها به دلیل طراحی مهندسی و شرایط بهینه، این تصور غلط را ایجاد می‌کنند که رانندگی با سرعت‌های بسیار بالا، ایمن و کم‌هزینه است. در حالی که از نظر فیزیک و اقتصاد، اینگونه نیست. اگرچه آزادراه‌ها برای سرعت‌های بالا طراحی شده‌اند، اما تخطی از حد مجاز ۱۲۰ کیلومتر بر ساعت پیامدهای اقتصادی مستقیمی دارد که در چهار حوزه قابل بررسی است:

الف) افزایش مصرف سوخت: در سرعت‌های بالای ۱۰۰ کیلومتر بر ساعت، مقاومت هوا عامل اصلی افزایش مصرف سوخت می‌شود. یعنی وقتی سرعت از ۱۲۰ به ۱۴۰ کیلومتر بر ساعت می‌رسد (افزایش ۱۷٪)، مقاومت هوا تقریباً ۳۶٪ افزایش می‌یابد که مستلزم مصرف سوخت بسیار بیشتر است. بر اساس مطالعات انجمن مهندسان خودرو، پس از سرعت ۸۰ کیلومتر بر ساعت، به ازای هر ۱۰ کیلومتر افزایش سرعت، مصرف سوخت حدود ۱۲٪-۸٪ افزایش می‌یابد (SAE International, 2018).

ب) استهلاک سریع‌تر خودرو: مطالعات مؤسسه مهندسان مکانیک نشان می‌دهد استهلاک موتور، سیستم ترمز و لاستیک‌ها در سرعت‌های بالا به طور تصاعدی افزایش می‌یابد (۲۰۲۰ IMechE).

ج) جریمه‌های تخلفات رانندگی: بر اساس آمار، سالانه بیش از ۳ میلیون فقره جریمه سرعت غیرمجاز در آزادراه‌های کشور ثبت می‌شود (پلیس راهور فراجا، ۱۴۰۲).

د) آلودگی هوا: افزایش سرعت از ۱۲۰ به ۱۴۰ کیلومتر بر ساعت، انتشار آلاینده‌های NOx را تا ۲۵٪ افزایش می‌دهد (قدسی و همکاران، ۱۳۹۶).

این پژوهش در پی آن است که نشان دهد چگونه رفتار فردی رانندگان در انتخاب سرعت بر عملکرد شبکه آزادراهی و شاخص‌های کلان اقتصادی و زیست محیطی کشور تأثیر می‌گذارد.

اگرچه مطالعات پراکنده‌ای در این زمینه وجود دارد، اما پژوهش جامعی که به صورت نظام‌مند و کمی، هزینه‌های مستقیم اقتصادی سرعت غیرمجاز را در شبکه آزادراه‌ها مورد سنجش قرار

واحد زمان صرفه‌جویی شده است که از نسبت تغییرات هزینه به تغییرات زمان به دست می‌آید. فرزانه موحد و همکاران (۱۴۰۱) به بررسی اثر ویژگی‌های فردی و پنداری بر تواتر تخلف سرعت غیرمجاز، مطالعه موردی شهروندان تهران اقدام نمودند و با بررسی تواتر تخلف سرعت غیرمجاز با استفاده از ویژگی‌های فردی و پنداری مرتبط با رانندگان، رانندگان پر خطر شناسایی کردند. تحقیقات نشان داد که طول زمان فعالیت فیزیکی و ورزش در هفته (مثبت)، داشتن پندارهایی شامل کندرو بودن رانندگان دیگر (مثبت) و غیراخلاقی دانستن تخلف رانندگی (منفی) بر احتمال وقوع تخلف سرعت غیرمجاز اثرگذار بوده و به طور غیرمستقیم بر تواتر تخلف سرعت غیرمجاز اثر می‌گذارند. همچنین، متغیرهای تأخیر داشتن در بیشتر سفرهایی که فرد ملزم به رانندگی است (مثبت)، سابقه رانندگی کمتر از پنج سال (منفی) و داشتن بیمه بدنه خودرو (مثبت) به طور مستقیم بر تواتر تخلف سرعت غیرمجاز اثرگذار هستند. کرموند (۱۴۰۴) "کاربرد معماری نوین مدل آموزش عمیق ترکیبی CNN-LSTM در پیش‌بینی تعداد تخلفات سرعت غیرمجاز با داده‌های ترافیکی ساعتی" را بررسی نموده که نتایج حاصل از اعتبارسنجی مقاطع ۵ تایی نشان‌دهنده عملکرد قابل قبول مدل در پیش‌بینی تعداد تخلفات سرعت غیرمجاز است. عموزاده و همکاران (۱۴۰۱) به بررسی تأثیر افزایش تعداد وسایل نقلیه بر تصادفات مربوط به تخلفات سرعت و فاصله غیر مجاز (مطالعه موردی بزرگراه بوشهر-بrazجان) پرداخته و به این نتیجه رسیدند که افزایش تعداد وسایل نقلیه، ۹۳ درصد بر تعداد تصادفات، ۸۳ درصد بر تعداد تخلفات ناشی از سرعت و ۸۱ درصد بر تخلفات مربوط به فاصله غیرمجاز، تأثیر گذاشته است. همچنین با توجه به متغیرهای مستقل و با استفاده از معادله رگرسیون چند متغیره خطی، مدلی جهت پیش‌بینی تعداد تصادفات برای سالهای آینده ارائه شد. اسمعیلی (۱۴۰۴) به معرفی سیستم هوشمند تشخیص آلودگی هوا در خودرو برای فعال سازی حالت اقتصادی رانندگی و کاهش آلاینده‌های خروجی پرداخته و به این نتیجه دست یافتند که استفاده از این سیستم می‌تواند به طور موثری در کاهش آلودگی هوا و بهبود شرایط زیست محیطی موثر باشد. استیون کوم فوندزنیوی و همکاران (۲۰۲۴) به سهم سرعت‌های بیش از حد یا نامناسب در تصادفات و تلفات جاده‌ای پرداختند و به این نتیجه رسیدند که سرعت غیرمجاز تقریباً در ۵۴ درصد از مرگ و میرها در سراسر جهان، ۵۷ درصد در کشورهای با درآمد

متوسط و پایین و ۲۸ درصد در کشورهای با درآمد بالا نقش دارد. این به معنای یک مرگ مرتبط با سرعت غیرمجاز در هر ۴۹ ثانیه است که احتمال وقوع آن در کشورهای با درآمد متوسط و پایین ۹۵ درصد است. استفان گاسلینگ و همکاران (۲۰۲۲) با بررسی هزینه مادام العمر رانندگی با ماشین دست یافتند که برای گروه‌های کم‌درآمد، مالکیت خودرو شخصی می‌تواند هزینه‌ای معادل مسکن را به همراه داشته باشد و سهم زیادی از درآمد قابل تصرف را مصرف کند. این امر پیچیدگی‌هایی را در برداشت از هزینه‌های حمل‌ونقل، توجیه اقتصادی روش‌های حمل‌ونقل جایگزین یا توجیه مالیات‌ها ایجاد می‌کند. آمیت چوگوله و همکاران (۲۰۲۳) مروری جامع بر محدودیت‌های رانندگی خودران و تأثیر آن بر تصادفات و برخوردها انجام داده‌اند و دریافته‌اند که بین ابعاد اخلاقی و نظارتی با رانندگی خودکار ارتباط وجود دارد و پیچیدگی‌های قانونی ناشی از تصادفات مربوط به وسایل نقلیه خودران را برجسته کردند. فلورنت وارت و همکاران (۲۰۲۳) در پژوهش ارزش اجتماعی، ویژگی‌های هنجاری و تفاوت‌های جنسیتی مرتبط با سرعت غیرمجاز و رعایت محدودیت‌های سرعت به این نتیجه رسیدند که هر دو جنس، سرعت غیرمجاز و رعایت محدودیت‌های سرعت را بی‌ارزش می‌دانند، اما مردان این کار را به میزان کمتری نسبت به زنان انجام می‌دهند. همچنین مردان در بعد مطلوبیت اجتماعی، کمتر از زنان برای رعایت محدودیت سرعت ارزش قائل هستند و هیچ تفاوت جنسیتی در ارزیابی سرعت غیرمجاز در هر دو بعد ارزش اجتماعی یافت نشد. صرف نظر از جنسیت، سرعت غیرمجاز بیشتر از نظر مطلوبیت اجتماعی، از نظر سودمندی اجتماعی ارزش‌گذاری می‌شود، در حالی که رعایت محدودیت سرعت در هر دو بعد به طور مشابه ارزش‌گذاری می‌شود. مرور نظام‌مند پیشینه تحقیقات داخلی و خارجی به وضوح مشاهده می‌شود که پدیده سرعت غیرمجاز، تابعی چندبعدی با پیامدهای اقتصادی مستقیم و قابل اندازه‌گیری است و یافته‌ها تلفیقی از سه محور اصلی، ایمنی (هزینه تصادفات)، بهره‌وری (هزینه عملیاتی) و ارزیابی اقتصادی (تلفیق هزینه‌ها) می‌باشد. با وجود غنای مطالعات پیشین در بررسی جداگانه هر یک از ابعاد فوق، خلأ اصلی در عدم ارائه یک مدل جامع و یکپارچه برای محاسبه کل هزینه‌های مستقیم اقتصادی سرعت غیر مجاز در بستر خاص آزادراه‌های ایران است. بیشتر پژوهش‌های داخلی بر بعد ایمنی یا مصرف سوخت به صورت مجزا متمرکز بوده‌اند. این پژوهش

با یکپارچه‌سازی چهار گانه هزینه‌های مستقیم سرعت غیر مجاز (جریمه تخلفات رانندگی، سوخت، آلودگی هوا و استهلاک خودرو) در یک مدل کمی واحد و مقایسه تطبیقی مستقیم بین سناریوی «سرعت مجاز» و «سرعت غیرمجاز» نه تنها بر یافته‌های گذشته صحه می‌گذارد، بلکه با ارائه یک چارچوب تحلیلی یکپارچه، ابزاری قدرتمند برای تصمیم‌گیری‌های مدیریتی و توجیه اقتصادی سرمایه‌گذاری در سیستم‌های هوشمند کنترل سرعت در شبکه آزادراهی کشور فراهم می‌آورد.

۳- روش شناسی تحقیق

این تحقیق از نظر هدف، کاربردی و از نظر روش توصیفی و نوع داده ها کمی است. جامعه مورد مطالعه خودروی تارا اتوماتیک پلاس در حال تردد در آزادراه تهران-قم است. نمونه‌گیری به صورت هدفمند انجام شده و یک دستگاه از این خودرو به عنوان نمونه در نظر گرفته می‌شود. تمام داده‌ها برای این یک نمونه، در ۵ سناریوی سرعت مختلف (۱۲۰، ۱۳۰، ۱۴۰، ۱۵۰، ۱۶۰ و ۱۷۰ کیلومتر بر ساعت) در شرایط خاص محیطی ثابت آزادراه مورد (۱)

فرمول مصرف سوخت در هر سرعت در ۱۰۰ کیلومتر

$$F v^1 = F b \times (v/v b)^k$$

$F v$: مصرف سوخت در سرعت v (لیتر بر ۱۰۰ کیلومتر)

$F b$: مصرف سوخت در سرعت مبنا (لیتر بر ۱۰۰ کیلومتر)

$v b$: سرعت مبنا (۱۲۰ کیلومتر بر ساعت)

k : ضریب تصحیح (معمولاً بین ۱,۵ تا ۲,۵ برای خودروهای بنزینی)

بر اساس اطلاعات فنی و شبیه‌سازی‌های انجام‌شده، مصرف سوخت این خودرو در سرعت‌های مختلف به صورت زیر برآورد می‌شود.

جدول ۱. داده‌های مصرف سوخت خودروی تارا اتوماتیک پلاس

سرعت (کیلومتر بر ساعت)	مصرف سوخت (لیتر در ۱۰۰ کیلومتر)
۱۲۰	۷.۵
۱۳۰	۸.۲
۱۴۰	۹.۰
۱۵۰	۱۰.۰
۱۶۰	۱۱.۲
۱۷۰	۱۳,۳۵

^۱ . فرمول توانی محاسبه مصرف سوخت $F v = F b \times (v/v b)^k$ از مدل ارائه‌شده توسط Akcelik (۲۰۱۱) اقتباس شده است.

محاسبات جزئیات سفر

(۲) محاسبه مصرف سوخت کل سفر: $F_{total} = (F_v \times d) / 100$

(۳) محاسبه هزینه سوخت کل سفر: $C = F_{total} \times P_{fuel}$

قیمت بنزین (۳۰۰۰ تومان در هر لیتر): P_{fuel}

جدول ۲. نتایج محاسبات هزینه مصرف سوخت

سرعت (کیلومتر بر ساعت)	مصرف سوخت (L/100km)	سوخت کل سفر (L)	هزینه سوخت (تومان)
۱۲۰	۷.۵	۹.۰۰	۲۷,۰۰۰
۱۳۰	۸.۲	۹.۸۴	۲۹,۵۲۰
۱۴۰	۹.۰	۱۰.۸۰	۳۲,۴۰۰
۱۵۰	۱۰.۰	۱۲.۰۰	۳۶,۰۰۰
۱۶۰	۱۱.۲	۱۳.۴۴	۴۰,۳۲۰
۱۷۰	۱۳.۳۵	۱۶.۰۲	۴۸,۰۶۰

۱۲۰ کیلومتر بر ساعت، قیمت بنزین ۳۰۰۰ تومان بر لیتر، آلاینده‌های کلیدی CO_2 ، NO_x ، CO ، HC و ذرات معلق (PM)، بر اساس روش هزینه اجتماعی آلودگی و با توجه به فرمول‌های زیر به نتایج ذیل دست خواهیم یافت.

بر اساس این محاسبات می‌توان دریافت که با افزایش سرعت از ۱۲۰ به ۱۷۰ کیلومتر بر ساعت، مصرف سوخت ۷۸٪ افزایش می‌یابد. در خصوص هزینه آلودگی هوا با توجه به مفروضات و پارامترهای پایه از جمله طول مسیر ۱۲۰ کیلومتری، سرعت مبنا

$$E_{v,i} = E_{Fi} \times (F_v \times d) / 100$$

محاسبه انتشار آلاینده‌ها

میزان انتشار آلاینده i در سرعت v (گرم): $E_{v,i}$

ضریب انتشار آلاینده i (گرم بر لیتر سوخت): E_{Fi}

مصرف سوخت در سرعت v (لیتر بر ۱۰۰ کیلومتر): F_v (بر اساس جدول مصرف سوخت)

مسافت (کیلومتر): d

$$C_{pollution} = \sum_i (E_{v,i} \times S_{Ci})$$

رابطه ۵: محاسبه هزینه آلودگی

هزینه اجتماعی آلاینده i (تومان بر گرم): S_{Ci}

جدول ۳. ضرایب انتشار آلاینده‌ها (بر اساس استاندارد یورو ۴)

آلاینده	ضریب انتشار (گرم/لیتر سوخت)	منبع
CO ₂ ^۱	2320	EEA, 2022
NO _x	1.8	EEA, 2022
CO	4.5	EEA, 2022
HC	0.6	EEA, 2022
PM	0.05	EEA, 2022

جدول ۴. هزینه‌های اجتماعی آلاینده‌ها^۲ (بر اساس مطالعات داخلی)

آلاینده	هزینه اجتماعی (تومان/گرم)	منبع
CO ₂	۱۲۰	محیط زیست ایران، ۱۴۰۱
NO _x	۸۵۰	محیط زیست ایران، ۱۴۰۱
CO	۶۵	محیط زیست ایران، ۱۴۰۱
HC	۷۲۰	محیط زیست ایران، ۱۴۰۱
PM	۱۲۵۰	محیط زیست ایران، ۱۴۰۱

محاسبات جزئیات آلودگی و هزینه

محاسبه انتشار آلاینده‌ها برای سرعت ۱۲۰ کیلومتر بر ساعت

$$\text{مصرف سوخت کل} = (۷.۵ \times ۱۲۰) / ۱۰۰ = ۹ \text{ لیتر}$$

جدول ۵. محاسبه انتشار آلاینده‌ها برای خودروی مورد نظر با سرعت ۱۲۰ کیلومتر بر ساعت

گرم CO ₂ : $۲۳۲۰ \times ۹.۰ = ۲۰۸۸۰$	گرم NO _x : $۱.۸ \times ۹.۰ = ۱۶.۲$
گرم CO: $۴.۵ \times ۹.۰ = ۴۰.۵$	گرم HC: $۰.۶ \times ۹.۰ = ۵.۴$
گرم PM: $۰.۰۵ \times ۹.۰ = ۰.۴۵$	

جدول ۶. محاسبه هزینه آلودگی برای سرعت ۱۲۰ کیلومتر بر ساعت

تومان CO ₂ : $۲۰۸۸۰ \times ۱۲۰ = ۲,۵۰۵,۶۰۰$	تومان NO _x : $۱۶.۲ \times ۸۵۰ = ۱۳,۷۷۰$
تومان CO: $۴۰.۵ \times ۶۵ = ۲,۶۳۲.۵$	تومان HC: $۵.۴ \times ۷۲۰ = ۳,۸۸۸$
تومان PM: $۰.۴۵ \times ۱۲۵۰ = ۵۶۲.۵$	

بنابراین جمع کل آلودگی برای سرعت ۱۲۰ کیلومتر بر ساعت برابر است با: ۲,۵۲۶,۴۵۳ تومان

^۱. ضریب انتشار CO₂ بر اساس راهنمای IPCC (۲۰۰۶) محاسبه شده است.

^۲. ضرایب بومی‌سازی شده هزینه اجتماعی آلاینده‌ها (بر حسب تومان) با استناد به مقررات سازمان حفاظت محیط زیست ایران (۱۴۰۱) و مطالعه Nouri & Naddafi (۲۰۲۰) تعیین و اعتباربخشی شده‌اند.

جدول ۷. نتایج محاسبات هزینه آلودگی

سرعت (کیلومتر بر ساعت)	۱۲۰	۱۳۰	۱۴۰	۱۵۰	۱۶۰	۱۷۰
مصرف سوخت (لیتر)	۹.۰۰	۹.۸۴	۱۰.۸۰	۱۲.۰۰	۱۳.۴۴	۱۶.۰۲
هزینه آلودگی CO ₂	۲,۵۰۵,۶۰۰	۲,۷۳۹,۲۶۴	۳,۰۰۶,۷۲۰	۳,۳۴۰,۸۰۰	۳,۷۴۱,۶۹۶	۴,۴۵۹,۹۶۸
هزینه آلودگی NO _x	۱۳,۷۷۰	۱۵,۰۵۵	۱۶,۵۲۴	۱۸,۳۶۰	۲۰,۵۶۳	۲۴,۵۱۰
هزینه آلودگی CO	۲,۶۳۳	۲,۸۷۷	۳,۱۵۹	۳,۵۱۰	۳,۹۳۱	۴,۶۸۵
هزینه آلودگی HC	۳,۸۸۸	۴,۲۵۰	۴,۶۶۶	۵,۱۸۴	۵,۸۰۶	۶,۹۲۰
هزینه آلودگی PM	۵۶۳	۶۱۵	۶۷۵	۷۵۰	۸۴۰	۱,۰۰۱
هزینه کل آلودگی	۲,۵۲۶,۴۵۴	۲,۷۶۲,۰۶۱	۳,۰۳۱,۷۴۴	۳,۳۶۸,۶۰۴	۳,۷۷۲,۸۳۶	۴,۴۹۷,۰۸۴

بنابراین:

الف) سهم آلاینده‌ها در هزینه کل برابر است با:

CO₂: ۹۹.۱-۹۹.۲٪ (بیشترین سهم)

NO_x: ۰.۵۴-۰.۵۵٪

HC: ۰.۱۵-۰.۱۶٪

CO: ۰.۱۰-۰.۱۱٪

PM: ۰.۰۲-۰.۰۳٪

ب) افزایش سرعت از ۱۲۰ به ۱۷۰ کیلومتر بر ساعت (۴۱٪ افزایش)، هزینه آلودگی را ۷۷.۹٪ افزایش می‌دهد.

این رشد تقریباً رابطه خطی با مصرف سوخت دارد (ضریب همبستگی ≈ 0.999).

در خصوص هزینه استهلاک خودرو با توجه به مفروضات و پارامترهای پایه از جمله طول مسیر ۱۲۰ کیلومتری، سرعت مبنا ۱۲۰ کیلومتر بر ساعت، قیمت خودرو: ۱,۳۳۰,۰۰۰,۰۰۰ تومان، قیمت لاستیک: ۲۴۰,۰۰۰,۰۰۰ تومان (ست ۴ عدد)، قیمت لنت ترمز: ۲,۵۰۰,۰۰۰ تومان (ست ۴ عدد)، عمر مفید خودرو^۱: ۲۰۰,۰۰۰ کیلومتر، عمر لاستیک^۲: ۴۰,۰۰۰ کیلومتر، عمر لنت ترمز: ۳۰,۰۰۰ کیلومتر و با توجه به فرمول‌های زیر به نتایج ذیل دست خواهیم یافت.

$$C \text{ depreciation} = K v \times (P \text{ vehicle} \times d) / L \text{ vehicle}$$

(۶) هزینه استهلاک کلی خودرو

$$C \text{ depreciation} = K v \times (P \text{ tyre} \times d) / L \text{ tyre}$$

(۷) هزینه استهلاک لاستیک

$$C \text{ depreciation} = K v \times (P \text{ brake} \times d) / L \text{ brake}$$

(۸) هزینه استهلاک لنت ترمز

$$K v = (v / v b)^k$$

(۹) ضریب تصحیح سرعت برای استهلاک^۳

* در روابط فوق C هزینه، P قیمت، d مسافت و L عمر مفید می‌باشد.

^۱ عمر مفید خودرو (۲۰۰,۰۰۰ کیلومتر) بر اساس داده‌های Davis and Boundy (۲۰۲۲) تعیین شده است.

^۲ عمر لاستیک (۴۰,۰۰۰ کیلومتر) و عمر لنت ترمز (۳۰,۰۰۰ کیلومتر) به ترتیب بر اساس راهنمای فنی Michelin (۲۰۲۳) و Bosch Automotive (۲۰۲۲) در نظر گرفته شده‌اند.

^۳ مدل توانی اثر سرعت $K v = (v / v b)^k$ از مطالعه Fancher and Mathew (۲۰۱۹) اقتباس شده است.

داده‌های فنی^۱ و محاسبات پایه^۲

محاسبات استهلاک در سرعت مبنا: ۱۲۰ کیلومتر بر ساعت

هزینه استهلاک خودرو: $C_{dep} = (1,330,000,000 \times 120) / 200,000 = 798,000$ تومان

هزینه استهلاک لاستیک: $C_{tyre} = (24,000,000 \times 120) / 40,000 = 72,000$ تومان

هزینه استهلاک لنت ترمز: $C_{brake} = (2,500,000 \times 120) / 30,000 = 10,000$ تومان

جمع کل هزینه استهلاک در سرعت ۱۲۰ کیلومتر بر ساعت $798,000 + 72,000 + 10,000 = 880,000$ تومان

جدول ۸. ضرایب تصحیح سرعت و محاسبات نهایی

سرعت (کیلومتر بر ساعت)	ضریب تصحیح (K_v)	استهلاک خودرو	استهلاک لاستیک	استهلاک لنت	جمع کل استهلاک
۱۲۰	۱.۰۰	۷۹۸,۰۰۰	۷۲,۰۰۰	۱۰,۰۰۰	۸۸۰,۰۰۰
۱۳۰	۱.۱۳	۹۰۱,۷۴۰	۸۱,۳۶۰	۱۱,۳۰۰	۹۹۴,۴۰۰
۱۴۰	۱.۲۸	۱,۰۲۱,۴۴۰	۹۲,۱۶۰	۱۲,۸۰۰	۱,۱۲۶,۴۰۰
۱۵۰	۱.۴۴	۱,۱۴۹,۱۲۰	۱۰۳,۶۸۰	۱۴,۴۰۰	۱,۲۶۷,۲۰۰
۱۶۰	۱.۶۱	۱,۲۸۴,۷۸۰	۱۱۵,۹۲۰	۱۶,۱۰۰	۱,۴۱۶,۸۰۰
۱۷۰	۱.۷۸	۱,۴۲۰,۴۴۰	۱۲۸,۱۶۰	۱۷,۸۰۰	۱,۵۶۶,۴۰۰

بر این اساس:

الف) رشد هزینه استهلاک با افزایش سرعت:

* افزایش سرعت از ۱۲۰ به ۱۷۰ کیلومتر بر ساعت (۴۱٪ افزایش)، هزینه استهلاک را به مبلغ ۶۸۶,۴۰۰ تومان معادل ۷۸٪ افزایش می‌دهد.

ب) سهم اجزای مختلف در هزینه استهلاک:

استهلاک خودرو: ۹۰,۶۸٪ (سهم غالب)

استهلاک لاستیک: ۸,۱۸٪

استهلاک لنت ترمز: ۱,۱۳٪

در خصوص هزینه جریمه خودرو با توجه به مفروضات و پارامترهای پایه از جمله حداکثر سرعت مجاز ۱۲۰ کیلومتر بر ساعت، تعداد دوربین‌های ثابت ۱۶ دستگاه، احتمال^۳ جریمه شدن ۵۰٪ برای هر دوربین، سرعت مبنا ۱۲۰ کیلومتر بر ساعت و با توجه به جدول جرائم و فرمول زیر به نتایج ذیل دست خواهیم یافت.

^۱. داده‌های فنی خاص خودروی تارا از انتشارات Iran Khodro Company (2023) استخراج شده است.

^۲. روش‌شناسی محاسبات هزینه بر اساس استاندارد SAE J2240 (۲۰۲۱) و مطالعه Delucchi and Lipman (۲۰۲۰) پایه‌ریزی شده است.

^۳. نرخ تشخیص ۵۰٪ با توجه به مطالعه فراتحلیل De Pauw et al. (۲۰۲۳) و شرایط متوسط در نظر گرفته شده است و روش‌شناسی محاسبه احتمال تشخیص از پژوهش Zhao et al. (۲۰۲۱) اقتباس شده است.

جدول ۹. جرایم سرعت^۱

سرعت (کیلومتر بر ساعت)	میزان جریمه (تومان)
۱۲۰	۰
۱۳۰	۱۰۰,۰۰۰
۱۴۰	۱۵۰,۰۰۰
۱۵۰	۲۰۰,۰۰۰
۱۶۰	۲۵۰,۰۰۰
۱۷۰	۳۰۰,۰۰۰

$$C \text{ ticket} = P \text{ ticket} \times N \text{ cameras} \times P \text{ detection}$$

(۱۰) محاسبه هزینه جریمه مورد انتظار

که در آن:

P ticket: میزان جریمه هر تخلف (تومان):

N cameras: تعداد دوربین‌ها (۱۶ دستگاه):

P detection (۰.۵): احتمال جریمه شدن:

جدول ۱۰. محاسبات هزینه جریمه برای هر سرعت

سرعت (کیلومتر بر ساعت)	جریمه هر تخلف	تعداد دوربین	احتمال جریمه	هزینه جریمه مورد انتظار
۱۲۰	۰	۱۶	۰/۵	۰
۱۳۰	۱۰۰,۰۰۰	۱۶	۰/۵	۸۰۰,۰۰۰
۱۴۰	۱۵۰,۰۰۰	۱۶	۰/۵	۱,۲۰۰,۰۰۰
۱۵۰	۲۰۰,۰۰۰	۱۶	۰/۵	۱,۶۰۰,۰۰۰
۱۶۰	۲۵۰,۰۰۰	۱۶	۰/۵	۲,۰۰۰,۰۰۰
۱۷۰	۳۰۰,۰۰۰	۱۶	۰/۵	۲,۴۰۰,۰۰۰

جدول ۱۱. تجمیع هزینه‌های کل

سرعت (کیلومتر بر ساعت)	هزینه سوخت	هزینه آلودگی	هزینه استهلاک	هزینه جریمه	هزینه کل
۱۲۰	۲۷,۰۰۰	۲,۵۲۶,۴۵۴	۸۸۰,۰۰۰	۰	۳,۴۳۳,۴۵۴
۱۳۰	۲۹,۵۲۰	۲,۷۶۲,۰۶۱	۹۹۴,۴۰۰	۸۰۰,۰۰۰	۴,۵۸۵,۹۸۱
۱۴۰	۳۲,۴۰۰	۳,۰۳۱,۷۴۴	۱,۱۲۶,۴۰۰	۱,۲۰۰,۰۰۰	۵,۳۹۰,۵۴۴
۱۵۰	۳۶,۰۰۰	۳,۳۶۸,۶۰۴	۱,۲۶۷,۲۰۰	۱,۶۰۰,۰۰۰	۶,۲۷۱,۸۰۴
۱۶۰	۴۰,۳۲۰	۳,۷۷۲,۸۳۶	۱,۴۱۶,۸۰۰	۲,۰۰۰,۰۰۰	۷,۲۲۹,۹۵۶
۱۷۰	۴۸,۰۶۰	۴,۴۹۷,۰۸۴	۱,۵۶۶,۴۰۰	۲,۴۰۰,۰۰۰	۸,۵۱۱,۵۴۴

^۱ جدول جرایم سرعت از جدول جرایم تخلفات راهنمایی و رانندگی فراجا (۱۴۰۲) استخراج شده است.

جدول ۱۲. تحلیل رشد هزینه‌ها نسبت به سرعت مینا ۱۲۰ کیلومتر بر ساعت

سرعت (کیلومتر بر ساعت)	افزایش هزینه مطلق	افزایش هزینه نسبی
۱۳۰	۱,۱۵۲,۵۲۷	۳۳.۶٪
۱۴۰	۱,۹۵۷,۰۹۰	۵۷.۰٪
۱۵۰	۲,۸۳۸,۳۵۰	۸۲.۷٪
۱۶۰	۳,۷۹۶,۵۰۲	۱۱۰.۶٪
۱۷۰	۵,۰۷۸,۰۹۰	۱۴۸٪

جدول ۱۳. سهم هر جزء از هزینه کل (درصد)

سرعت (کیلومتر بر ساعت)	سهم سوخت	سهم آلودگی	سهم استهلاک	سهم جریمه
۱۲۰	۰,۷۸٪	۷۳.۶٪	۲۵.۶٪	۰
۱۳۰	۰,۶۴٪	۶۰.۲٪	۲۱.۷٪	۱۷.۴٪
۱۴۰	۰,۶٪	۵۶.۲٪	۲۰.۹٪	۲۲.۳٪
۱۵۰	۰,۵۷٪	۵۳.۷٪	۲۰.۲٪	۲۵.۵٪
۱۶۰	۰,۵۵٪	۵۲.۲٪	۱۹.۶٪	۲۷.۷٪
۱۷۰	۰,۵۶٪	۵۲,۸٪	۱۸,۴٪	۲۸,۱٪

با نظر به اینکه هزینه آلودگی با هزینه‌های دیگر از نظر اینکه پرداخت آن متوجه راننده نمی‌باشد، متفاوت است لذا برآورد هزینه کل در سرعت‌های پیشنهادی بدون احتساب هزینه آلودگی نیز محاسبه می‌گردد.

جدول ۱۴. تجمیع هزینه‌های کل بدون احتساب هزینه آلودگی

سرعت (کیلومتر بر ساعت)	هزینه سوخت	هزینه استهلاک	هزینه جریمه	هزینه کل
۱۲۰	۲۷,۰۰۰	۸۸۰,۰۰۰	۰	۹۰۷,۰۰۰
۱۳۰	۲۹,۵۲۰	۹۹۴,۴۰۰	۸۰۰,۰۰۰	۱,۸۲۳,۹۲۰
۱۴۰	۳۲,۴۰۰	۱,۱۲۶,۴۰۰	۱,۲۰۰,۰۰۰	۲,۳۵۸,۸۰۰
۱۵۰	۳۶,۰۰۰	۱,۲۶۷,۲۰۰	۱,۶۰۰,۰۰۰	۲,۹۰۳,۲۰۰
۱۶۰	۴۰,۳۲۰	۱,۴۱۶,۸۰۰	۲,۰۰۰,۰۰۰	۳,۴۵۷,۱۲۰
۱۷۰	۴۸,۰۶۰	۱,۵۶۶,۴۰۰	۲,۴۰۰,۰۰۰	۴,۰۱۴,۴۶۰

جدول ۱۵. تحلیل رشد هزینه‌ها نسبت به سرعت مینا ۱۲۰ کیلومتر بر ساعت بدون احتساب آلودگی

سرعت (کیلومتر بر ساعت)	افزایش هزینه مطلق	افزایش هزینه نسبی
۱۳۰	۹۱۶,۹۲۰	۱۰۱.۱٪
۱۴۰	۱,۴۵۱,۸۰۰	۱۶۰.۱٪
۱۵۰	۱,۹۹۶,۲۰۰	۲۲۰.۱٪
۱۶۰	۲,۵۵۰,۱۲۰	۲۸۱.۱٪
۱۷۰	۳,۱۰۷,۴۶۰	۳۴۲.۶٪

جدول ۱۶. سهم هر جزء از هزینه کل (درصد)

سهم جرمه	سهم استهلاک	سهم سوخت	سرعت (کیلومتر بر ساعت)
۰	۹۷.۰۲٪	۲.۹٪	۱۲۰
۴۳.۸٪	۵۴.۵٪	۱.۶۱٪	۱۳۰
۵۰.۸٪	۴۷.۷٪	۱.۳۷٪	۱۴۰
۵۵.۱٪	۴۳.۶٪	۱.۲۴٪	۱۵۰
۵۷.۸٪	۴۰.۹٪	۱.۱۶٪	۱۶۰
۵۹.۷٪	۳۹.۰۱٪	۱.۱۹٪	۱۷۰

تحلیل هزینه-فایده افزایش سرعت

هزینه اضافی

هزینه زمانی = _____

(۱۱) محاسبه هزینه زمانی

زمان صرفه جویی شده

جدول ۱۷. محاسبه صرفه جویی زمانی در مقابل هزینه اضافی با احتساب هزینه آلودگی

افزایش سرعت	زمان سفر	صرفه جویی زمانی	هزینه اضافی	هزینه زمانی	هزینه به ازای هر کیلومتر
۱۲۰ → ۱۳۰	۵۵.۴ دقیقه	۴.۶ دقیقه	۱,۱۵۲,۵۲۷	۲۵۰,۵۴۹ تومان	۹,۶۰۴ تومان
۱۲۰ → ۱۴۰	۵۱.۴ دقیقه	۸.۶ دقیقه	۱,۹۵۷,۰۹۰	۲۲۷,۵۶۸ تومان	۱۶,۳۰۹ تومان
۱۲۰ → ۱۵۰	۴۸ دقیقه	۱۲ دقیقه	۲,۸۳۸,۳۵۰	۲۳۶,۵۲۹ تومان	۲۳,۶۵۲ تومان
۱۲۰ → ۱۶۰	۴۵ دقیقه	۱۵ دقیقه	۳,۷۹۶,۵۰۲	۲۵۳,۱۰۰ تومان	۳۱,۶۳۷ تومان
۱۲۰ → ۱۷۰	۴۲,۳ دقیقه	۱۷,۷ دقیقه	۵,۰۷۸,۰۹۰	۲۸۶,۸۹۷ تومان	۴۲,۳۱۷ تومان

جدول ۱۸. محاسبه صرفه جویی زمانی در مقابل هزینه اضافی بدون احتساب هزینه آلودگی

افزایش سرعت	زمان سفر	صرفه جویی زمانی	هزینه اضافی	هزینه زمانی	هزینه به ازای هر کیلومتر
۱۲۰ → ۱۳۰	۵۵.۴ دقیقه	۴.۶ دقیقه	۹۱۶,۹۲۰	۱۹۹,۳۳۰ تومان	۷,۶۴۱ تومان
۱۲۰ → ۱۴۰	۵۱.۴ دقیقه	۸.۶ دقیقه	۱,۴۵۱,۸۰۰	۱۶۸,۸۱۳ تومان	۱۲,۰۹۸ تومان
۱۲۰ → ۱۵۰	۴۸ دقیقه	۱۲ دقیقه	۱,۹۹۶,۲۰۰	۱۶۶,۳۵۰ تومان	۱۶,۶۳۵ تومان
۱۲۰ → ۱۶۰	۴۵ دقیقه	۱۵ دقیقه	۲,۵۵۰,۱۲۰	۱۷۰,۰۰۸ تومان	۲۱,۲۵۱ تومان
۱۲۰ → ۱۷۰	۴۲,۳ دقیقه	۱۷,۷ دقیقه	۳,۱۰۷,۴۶۰	۱۷۵,۵۶۲ تومان	۲۵,۸۹۵ تومان

تحلیل داده های تحقیق

- هزینه آلودگی بزرگترین جزء هزینه است (بین ۵۳٪ تا ۷۴٪)

تأثیر سرعت بر هزینه کل (با احتساب آلودگی)

از کل هزینه.

- هزینه کل از ۳,۴۳ میلیون تومان در سرعت ۱۲۰ به ۸,۵۱ میلیون

تومان در سرعت ۱۷۰ افزایش می یابد (رشد ۱۴۸٪).

هزینه اضافی به ازای هر دقیقه صرفه جویی زمانی یعنی همان هزینه زمانی:

- با احتساب آلودگی: از ۲۵۰ هزار تومان (در سرعت ۱۳۰) به ۲۸۷ هزار تومان (در سرعت ۱۷۰) افزایش می یابد.

- بدون احتساب آلودگی: از ۱۹۹ هزار تومان (در سرعت ۱۳۰) به ۱۷۶ هزار تومان (در سرعت ۱۷۰) کاهش نسبی دارد (به دلیل کاهش سهم آلودگی).

با توجه به اینکه متغیرهای هزینه زمانی یعنی هزینه اضافی و زمان صرفه جویی شده در سرعت های مورد بررسی با یکدیگر متفاوت است، لذا بهتر است برای دست یابی به تحلیل مناسب از مقدار هزینه اضافی به ازای هر کیلومتر استفاده نمود که در این صورت نسبت هزینه اضافی در سرعت های تعیین شده به طول آزادراه که ۱۲۰ کیلومتر است و انتخاب سرعت از سوی راننده در آن نقشی ندارد، محاسبه گردد. بنابراین طبق داده های به دست آمده با افزایش سرعت رانندگی و احتساب هزینه آلودگی، هزینه از ۹,۶ هزار به ۴۲,۳ هزار تومان و بدون احتساب هزینه آلودگی، هزینه از ۷,۶ هزار تومان به ۲۵,۸ هزار تومان افزایش می یابد.

۵- نتیجه گیری

این تحقیق به بررسی اقتصادی افزایش سرعت از ۱۲۰ کیلومتر بر ساعت (به عنوان سرعت مبنا) تا ۱۷۰ کیلومتر بر ساعت در مسیر ۱۲۰ کیلومتری آزادراه قم-تهران می پردازد. نتایج نشان می دهد که افزایش سرعت، هزینه های کل را به صورت نمایی افزایش می دهد، در حالی که صرفه جویی زمانی حاصل به طور نسبی محدود است. هزینه آلودگی به عنوان یک عامل خارجی (که توسط راننده پرداخت نمی شود) سهم عمده ای در هزینه ها دارد.

از دیدگاه اقتصادی (با احتساب آلودگی)

- افزایش سرعت از ۱۲۰ کیلومتر بر ساعت به مقادیر بالاتر توجه اقتصادی ندارد. هزینه های محیط زیستی و اجتماعی (آلودگی) به حدی بالاست که صرفه جویی اندک زمانی را تحت الشعاع قرار می دهد.

- هزینه های جریمه و استهلاک نیز با افزایش سرعت افزایش می یابند، در حالی که سهم سوخت ناچیز است (کمتر از ۱٪).

هزینه از دیدگاه راننده (بدون احتساب آلودگی)

- اگر هزینه آلودگی (به عنوان هزینه اقتصادی) در نظر گرفته نشود، هزینه کل از ۰,۹ میلیون تومان به ۴,۰۱ میلیون تومان افزایش می یابد (رشد ۳۴۳٪).

- در این حالت، جریمه به عامل غالب تبدیل می شود (تا ۶٪ از هزینه کل) و پس از آن استهلاک قرار دارد.

- این نشان دهنده واگذاری بخش عمده ای از هزینه های اقتصادی تخلف سرعت غیر مجاز به صورت جریمه به راننده است.

تحلیل هزینه-فایده زمانی

- صرفه جویی زمانی از افزایش سرعت ۱۲۰ به ۱۷۰، تنها ۱۷,۷ دقیقه است.

- هزینه اضافی برای رانندگی با سرعت غیر مجاز (بالاتر از ۱۲۰ کیلومتر در ساعت):

- با احتساب آلودگی، رانندگی در آزادراه قم تهران به طول ۱۲۰ کیلومتر، با سرعت ۱۳۰ کیلومتر در ساعت هزینه ای اضافی معادل ۱,۱۵۲,۵۲۷ تومان، با سرعت ۱۴۰ کیلومتر در ساعت هزینه ای اضافی معادل ۱,۹۵۷,۰۹۰ تومان، با سرعت ۱۵۰ کیلومتر در ساعت هزینه ای اضافی معادل ۲,۸۳۸,۳۵۰ تومان، با سرعت ۱۶۰ کیلومتر در ساعت هزینه ای اضافی معادل ۳,۷۹۶,۵۰۲ تومان و با سرعت ۱۷۰ کیلومتر در ساعت هزینه ای اضافی معادل ۵,۰۷۸,۰۹۰ تومان برای راننده خواهد داشت.

- بدون احتساب آلودگی، رانندگی در آزادراه قم تهران به طول ۱۲۰ کیلومتر، با سرعت ۱۳۰ کیلومتر در ساعت هزینه ای اضافی معادل ۹۱۶,۹۲۰ تومان، با سرعت ۱۴۰ کیلومتر در ساعت هزینه ای اضافی معادل ۱,۴۵۱,۸۰۰ تومان، با سرعت ۱۵۰ کیلومتر در ساعت هزینه ای اضافی معادل ۱,۹۹۶,۲۰۰ تومان، با سرعت ۱۶۰ کیلومتر در ساعت هزینه ای اضافی معادل ۲,۵۵۰,۱۲۰ تومان، با سرعت ۱۷۰ کیلومتر در ساعت هزینه ای اضافی معادل ۳,۱۰۷,۴۶۰ تومان برای راننده خواهد داشت.

- سیاست‌گذاری باید بر ثابت‌نگه‌داشتن یا کاهش حد مجاز سرعت متمرکز شود تا بار آلودگی و هزینه‌های خارجی کاهش یابد.

از دیدگاه راننده (بدون احتساب آلودگی)

- با افزایش سرعت، بار مالی جریمه به شدت افزایش می‌یابد. راننده برای صرفه‌جویی زمانی ناچیز، مجبور به پرداخت جریمه‌های قابل‌توجه می‌شود.
- با این حال، از آنجا که هزینه آلودگی توسط راننده پرداخت نمی‌شود، انگیزه فردی برای رعایت سرعت‌های پایین‌تر کاهش می‌یابد. این موضوع لزوم اعمال جریمه‌های بازدارنده را تقویت می‌کند.

پیشنهادهای

سازمان راهداری و حمل و نقل جاده‌ای کشور و پلیس راه فراجا می‌توانند با توسعه تحقیقات در خصوص تحلیل و ارزیابی هزینه‌های مستقیم اقتصادی رانندگی با سرعت غیرمجاز در مقایسه با سرعت مجاز در آزادراه‌ها نسبت به کاهش هزینه‌ها

۶- مراجع

- اسمعیلی، سعید (۱۴۰۴). معرفی سیستم هوشمند تشخیص آلودگی هوا در خودرو برای فعال‌سازی حالت اقتصادی رانندگی و کاهش آلایندگی‌های خروجی.
- کرم‌وند، علی اکبر (۱۴۰۴). کاربرد معماری نوین مدل آموزش عمیق ترکیبی CNN-LSTM در پیش‌بینی تعداد تخلفات سرعت غیرمجاز با داده‌های ترافیکی ساعتی. پژوهشنامه حمل و نقل.

- آمار جرایم سرعت در آزادراه‌های کشور (۱۴۰۲). گزارش سالانه پلیس راهور فراجا.

- آیین‌نامه جرائم رانندگی و مقررات سرعت در آزادراه‌ها (۱۴۰۲). معاونت اجتماعی و فرهنگ ترافیک پلیس راهور فراجا.
- فرزانه موحد علی، شفاعت علی و حبیبیان میقات (۱۴۰۱). بررسی اثر ویژگی‌های فردی و پنداری بر تواتر تخلف سرعت غیرمجاز: مطالعه موردی شهروندان تهران. نشریه مهندسی عمران/میرکبیر، ۵۴(۱)، ۹۷-۱۱۳.

علی‌الخصوص کاهش آلودگی هوا که در این چند سال اخیر کشور ما را درگیر کرده اقدام نمایند از جمله:

- نصب تابلوهای آگاهی‌دهنده در خصوص هزینه سرعت غیر مجاز در ابتدا آزادراه‌ها.

- پیامک اطلاع‌رسانی به رانندگان متخلف در خصوص هزینه سرعت غیر مجاز به عنوان مثال "جریمه سرعت شما ۲۰۰,۰۰۰ تومان، هزینه واقعی برای جامعه ۳,۷۰۰,۰۰۰ تومان، لطفاً سرعت مجاز را رعایت کنید".

- جریمه تخلفات سرعت غیر مجاز به صورت پلکانی و با در نظر گرفتن هزینه آلودگی هوا اعمال شود.

- سیستم امتیازدهی مثبت برای رانندگان کم‌سرعت.

- ملزم نمودن شرکت‌های خودروساز داخلی به نصب جعبه سیاه برای نظارت.

- آموزش هزینه‌های مستقیم و غیرمستقیم سرعت غیرمجاز به رانندگان.

- استقرار دوربین‌های هوشمند اندازه‌گیری سرعت متوسط.

- یکپارچه‌سازی سیستم‌های نظارتی جهت برخورد با رانندگان متخلف.

- عموزاده عمرانی محسن، اکبری غیبی، رضا، حفظ‌اله رضا و زینالزاده مسلم (۱۴۰۱). بررسی تاثیر افزایش تعداد وسایل نقلیه بر تصادفات مربوط به تخلفات سرعت و فاصله غیر مجاز (مطالعه موردی بزرگراه بوشهر-بrazجان).

- آمار طولی شبکه آزادراهی کشور (۱۴۰۱). گزارش داخلی شرکت ساخت و توسعه زیربنای حمل و نقل ایران.

- آیین‌نامه محاسبه و وصول خسارت آلودگی هوا و صدا. (۱۴۰۱). معاونت محیط زیست انسانی سازمان حفاظت محیط زیست ایران (این آیین‌نامه داخلی (سند اداری) که بر اساس مطالعات اقتصادی و ارزیابی خسارات سلامت در بافت ایران تدوین شده است، مبنای بومی‌سازی ضرایب هزینه اجتماعی (بر حسب تومان بر گرم) برای آلایندگی‌های مختلف در تحلیل حاضر قرار گرفته است. این ضرایب با در نظر گرفتن شاخص‌هایی مانند هزینه‌های درمان، کاهش بهره‌وری و آسیب‌های زیست‌محیطی محاسبه شده‌اند.)

- Michelin. (2023). Tyre care and maintenance guide. *Michelin Technical Department*.
- Nouri, J., & Naddafi, K. (2020). Health impact assessment and economic cost of ambient particulate matter in Tehran megacity. *Iranian Journal of Health and Environment*, 13(1), 1-14.
- Robert Bosch GmbH. (2022). Bosch Automotive. Brake system maintenance and wear characteristics.
- Recent Scientific Advances. U.S. EPA United States Environmental Protection Agency.
- Road transport. *Publications Office of the European Union European Environment Agency*.
- Report on the Social Cost of Greenhouse Gases (2022). Estimates Incorporating.
- SAE J1082: Fuel Economy Measurement Test Procedures for Light-Duty –Vehicles (2019). *SAE International*.
- SAE J2240: Vehicle operating cost analysis methodology (2021). Society of Automotive Engineers.
- The Impact of Speed on Vehicle Fuel Consumption (2018). *SAE International*. Technical Report 2018-01-0659.
- Transport. Retrieved from International Energy Agency (IEA), (2022).
- Technical Publication Department Iran Khodro Company (2023). Tara automatic plus technical specifications and maintenance schedule.
- The Effect of High-Speed Driving on Vehicle Component Wear (2022). Institution of Mechanical Engineers (IMechE). *Automotive Engineering Journal*.
- Vehicle fuel consumption – Test methods and reporting Iranian National- Standards Organization (ISIRI). (2022). *Standard No. 14226*.
- Varet, F., Apostolidis, T., & Granié, M. A. (2023). Social value, normative features and gender differences associated with speeding and compliance with speed limits. *Journal of Safety Research*, 84, 182-191.
- Zhao, X., Xu, W., & Ma, J. (2021). Modeling driver compliance with speed limits based on enforcement camera data. *Transportation Research Part F: Traffic Psychology and Behaviour*, 82, 56-71.
- بررسی مصرف انرژی در بخش حمل و نقل کشور (۱۴۰۰). گزارش مرکز پژوهش‌های مجلس شورای اسلامی شماره ۱۸۰۲۷.
- قدسی، ا.، فلاح، م.، و رضایی، ع. (۱۳۹۶). بررسی اثر کاهش سرعت بر میزان مصرف سوخت و آلایندگی خروجی از اگزوز خودروهای سواری. نشریه مهندسی خودرو و صنایع وابسته، ۴۵-۵۵، (۲)۱.
- Akcelik, R. (2011). Fuel consumption and emission modelling in urban traffic simulation. *Proceedings of the 34th Australasian Transport Research Forum (ATRF)*, Athens, Greece.
- Bishop, J. D., Molden, N., & Boies, A. M. (2019). Using vehicle simulation to assess the potential of eco-driving. *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, 67, 1-16.
- Chougule, A., Chamola, V., Sam, A., Yu, F. R., & Sikdar, B. (2023). A comprehensive review on limitations of autonomous driving and its impact on accidents and collisions. *IEEE Open Journal of Vehicular Technology*, 5, 142-161.
- Davis, S. C., & Boundy, R. G. (2022). *Transportation Energy Data Book (40th ed.)*. Oak Ridge National Laboratory.
- Delucchi, M. A., & Lipman, T. E. (2020). A comprehensive analysis of the lifetime costs of owning and operating a vehicle. *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, 86, 102437.
- Economic cost of the health impact of air pollution in Europe: Clean air (2021). *Health and Wealth. World Health Organization WHO Regional Office for Europe*.
- EMEP/EEA air pollutant emission inventory guidebook 2019, (2022). 1.A.3.b
- Fancher, P. S., & Mathew, A. (2019). A model for estimating the effect of speed on vehicle component wear. *Journal of Transportation Engineering*, 145(3), 04019001.
- Fondzenyuy, S. K., Turner, B. M., Burlacu, A. F., & Jurewicz, C. (2024). The contribution of excessive or inappropriate speeds to road traffic crashes and fatalities: A review of literature. *Transportation Engineering*, 17, 100259.
- IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories (2006). Vol. 2: *Energy*. Intergovernmental Panel on Climate Change. Institute for Global Environmental Strategies.

Analysis and Evaluation of the Direct Economic Costs of Driving at an Illegal Speed Compared to the Permitted Speed (Case Study: Tehran-Qom Freeway)

*Shahab Hassanpour, Assistant Professor, Department of Civil Engineering,
Ayatollah Borujerdi University, Borujerd, Iran.*

Ali Momeni, Ph.D., Student, Amin University, Tehran, Iran.

Fariba Shaygan, Professor, Amin University, Tehran, Iran.

Seyed Teymoor Hosseini, Associate Professor, Amin University, Tehran, Iran.

E-mail: sh.hassanpour@abru.ac.ir

Received: March 2026- Accepted: August 2026

ABSTRACT

This paper provides a comparative analysis of the direct economic costs of speeding versus speeding, specifically on the freeway network. Focusing on four key indicators: fuel consumption, vehicle depreciation, traffic fines, and air pollution costs, this study shows that choosing to exceed the speed limit on freeways is a very costly decision for drivers. Using a descriptive-analytical research method and examining technical and economic data related to freeways, the results clearly indicate that driving at a speed limit of 120 km/h compared to higher speeds (e.g., 150 km/h) results in significant savings in fuel costs, pollution, depreciation of sensitive vehicle parts, and heavy fines, amounting to more than 2,800,000 Tomans. The paper concludes that even on freeways where high speeds are possible, exceeding the 120 km/h speed limit is not economically viable and driving within the law is in the best interests of the household economy. As a result, a proper economic assessment can be made regarding illegal speeds.

Keywords: Direct Economic Costs of Driving, Speeding, Speed Limit, Freeway