پژوهش‌های شهری هفت حصار شماره چهارم/ سال اول/ تابستان ۱۳۹۲
صفحات ۷۰-۵۷

به‌کارگیری نرم‌افزار شبیه‌ساز به‌منظور تخمین مقدار آلاینده‌های تولیدشده در بزرگراه مطالعه موردی بزرگراه نیایش تهران

فریدون مقدس نژاد*، فهیمه گل بابایی، علیرضا نوری*****

تاریخ دریافت مقاله: ۹۱/۱۲/۲۲
تاریخ پـذیرش نهـایی: ۹۲/۵/۲

چکیده

یکی از مهم‌ترین مشکلات مسئولین مدیریت شهری در کلان‌شهر تهران، همواره تولید آلاینده‌ها در سطح شهر بوده است که با توجه به اهمیت روزافزون آلاینده‌های ناشی از تردد خودروها در سطح شهر مدیریت حمل‌ونقل و ترافیک شهری و مدیریت تولید آلاینده‌های هوا در سطح شهر دو جزء کاملاً لاینفک به‌حساب می‌آیند. در سال‌های اخیر برنامه‌ریزی و اثرسنجی راهبردهای ترافیکی توسط نرم‌افزارهای شبیه‌ساز ترافیک رشد قابل‌توجهی یافته است و با ترکیب نرم‌افزار شبیه‌سازی ترافیک و مدل‌های تولید آلاینده، عملاً ابزاری بسیار قوی برای تصمیم‌گیری بر اساس میزان تولید آلاینده در اختیار مدیران شهری قرارگرفته است. در این مقاله پس از کالیبراسیون و دقیق نمودن مدل شبیه‌سازی برای بزرگراه نیایش تهران، میزان تولید آلاینده در این بخش از شبکه، بدون اعمال راهبردهای مدیریت شبکه و با اعمال استراتژی کاهش سرعت جریان ترافیک در معبر محاسبه گردید. با مقایسه راهبردهای مذکور به‌خوبی می‌توان گزینه بهتر را یافته و در شبکه واقعی با اطمینان بسیار بیشتر به کار برد.

واژگان کلیدی

شبیه‌سازی، مدیریت آلاینده‌ها، آلودگی هوا، ترافیک شهری، بزرگراه درون‌شهری

* عضو هیئت‌علمی دانشگاه صنعتی امیرکبیر Email: f.moghadas@yahoo.com
** کارشناس ارشد حمل‌ونقل، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد علوم و تحقیقات Email:f.golbabaie@yahoo.com
*** کارشناس ارشد راه و ترابری، دانشگاه صنعتی امیرکبیر Email:alireza.noory@gmail.com

[Downloaded from hafthesar.iauh.ac.ir on 2026-10-09]
[DOR: 20.1225602.1392.1.4.6.8]

مقدمه

در شهر تهران که یکی از آلوده‌ترین شهرهای ایران است، بحران آلودگی هوا پدیده جدیدی نیست. در دهه‌های ۵۰، ۶۰ و ۷۰ همراه با رشد چشمگیر شهر تهران، شمار وسایل نقلیه موجود افزایش بسیار چشمگیری داشت. در همین زمان تعداد بسیار زیادی از کارخانه‌ها در حومه شهر به وجود آمدند که بسیاری از آن‌ها در جنوب، غرب و جنوب غربی شهر گسترده بودند. گسترش شهر در کنار وضعیت خاص جغرافیایی تهران موجب گردیده است که حل مشکل آلودگی هوای شهر تهران بسیار دشوار گردد و عملاً در برخی از روزهای سال به بحرانی جدی فراروی مسئولین شهر مبدل شود.بر اساس مطالعات دکتر پوراحمد در سال ۱۳۷۷، مشخصات جغرافیایی تهران ازجمله جهت وزش باد، میزان بارش، پدیده وارونگی و توپولوژی منطقه از عوامل مؤثر بر کیفیت هوای تهران هست. شمال تهران توسط رشته‌کوه البرز و بخش‌های شرقی و جنوبی آن توسط برخی کوه‌های با ارتفاع پایین‌تر همانند کوه بی‌بی شهربانو احاطه‌شده است.باد غالب منطقه از سمت غرب به شرق می‌وزد و با توجه به قرارگیری بسیاری از مراکز صنعتی در جنوب و جنوب غرب، باد آلودگی‌های صنعتی تولیدشده را با خود به شهر آورده و در محدوده کوه‌هایذکرشده به دام می‌اندازد، این در حالی است که در صورت عدم وجود کوه‌ها باد آلودگی‌های شهر را به محلی دورتر منتقل می‌نمود و میزان آلودگی شهر کاهش می‌یافت(Pour Ahmad, 1998).با توجه به این‌که عمده منابع آلودگی هوای شهر، آلاینده‌های حاصل از فعالیت خودروها و کارخانه‌ها بوده است، مسئولین شهر با انتقال کارخانه‌ها آلاینده به محلی دورتر از شهر اقدام به کم‌رنگ‌تر نمودن نقش کارخانه‌ها در آلودگی شهر نموده‌اند. باوجودمؤثر بودن استراتژی خروج کارخانه‌ها از فضای شهری و کاهش آلاینده‌های تولیدشده توسط آن‌ها، آلودگی تولیدشده توسط خودروها افزایش روزافزونی داشته است. شمار زیاد خودروهایی که در شهر تهران تردد می‌کنند، و افزایش سریع تعداد این آن‌ها، موجب شده است که نقش وسایل نقلیه در آلودگی هوای شهر بسیار بالا باشد. الزامی شدن معاینه فنی خودروها، افزایش قیمت سوخت، بهبود وضعیت حمل‌ونقل عمومی در شبکه و اعمال محدودیت تردد زوج یا فرد در شبکه ازجمله راهکارهای بوده‌اند که در مهروموم‌های اخیر توسط مسئولین در شبکه اعمال‌شده‌اند. بااین‌وجود آلودگی هوای تهران هرساله چندین روز موجب تعطیلی ادارات و مراکز آموزشی می‌شوند. یکی از مهم‌ترینگام‌های پیش‌گیری و مدیریت بحران آلودگی هوا پیش‌بینی میزان آلاینده‌های تولیدشده در سطح شهر هست که با توجه به توانایی شبیه‌سازهای ترافیک که به‌عنوان یکی از بهترین ابزار مهندسی حمل‌ونقل و ترافیک شناخته‌شده‌اند، در صورت ترکیب یک شبیه‌ساز ترافیک با مدل‌های تولید آلاینده می‌توان به یکی از مؤثرترین ابزارهای پیش‌بینی میزان آلاینده‌های تولیدشده در شبکه حمل‌ونقلدست‌یافت. در این تحقیق ابتدا به معرفی ساختار به کار گرفته‌شدهدریکی از نرم‌افزارهای شبیه‌ساز ترافیک موجود در بازار می‌پردازیم و سپس مدل تولید آلاینده به کار گرفته‌شده در تحقیق موردبررسی قرار خواهد گرفت. پس از معرفی زیرساخت‌ها، یکی از استراتژی قابل به‌کارگیری در شبکه موردبررسی قرار می‌گیرد که شامل اعمال محدودیت سرعت در شبکه است. با بررسی نتایج به‌دست‌آمده از شبیه‌سازی بخشی از شبکه بزرگراهی شهر تهران در کنار اعمال استراتژی مذکور می‌توان اعمال این استراتژی را اثر سنجی کرد و با مقایسه آن با وضعیت شبکه بدون اعمال استراتژی بهترین گزینه را مشخص نمود.

نرم‌افزار بکار گرفته‌شده در این مقاله نرم‌افزار شبیه‌ساز ترافیک شرکت TSSهست که از پیشرفته‌ترین نسخه موجود در بازار جهانی (نسخه ۶.۱) برای انجام این پروژه استفاده گردیده است که نسبت به نسخه‌های Getram و NGقابلیت‌های بیشتری را دارا هست.یک مدل شبیه‌سازی مصرف سوخت و دو مدل تولید آلاینده در این نسخه از نرم‌افزار قرار دارد که یکی از مدل‌های تولید آلاینده بر اساس پروژه QUARTET و دیگری مدل توسعه‌یافته‌ای است که میزان دی‌اکسید کربن، اکسیدهای نیتروژن،ذرات معلق و ترکیبات آلی فرار تولیدشده در شبکه را محاسبه می‌کند. میزان این گازها به‌طورکلی بر اساس میزان سرعت لحظه‌ای و شتاب خودرو و از فرمول Panis و همکارانش محاسبه می‌گردد. کاربر با تنظیم مدل ترافیکی برای منطقه بررسی و اختصاص پارامترهای برداشت‌شده از شبکه واقعی به مدل می‌تواند مقدار آلاینده تولیدشده توسط تک‌تک خودروها را به دست آورده و نهایتاً با در نظر گرفتن مجموع آلاینده‌های تولیدشده توسط تمامی خودروها مقدار آن را برای تمامی شبکه یا بخش خاصی از شبکه به دست آورد(Rinelli and Feddo, 2011).نرم‌افزار مورداستفادهپیش‌ازاین پروژه در بسیاری از نقاط جهان به کار گرفته‌شده و ارزیابی‌شده است.در کشور اسپانیا بیش از ۱۰ پروژه بزرگ توسط این نرم‌افزار به انجام رسیده است. در مطالعه‌ای که توسط جنزو همکارانش در سال ۲۰۰۴ در مرکز تحقیقات حمل‌ونقل آلاباما صورت پذیرفت از نرم‌افزار مورداستفاده در این تحقیق استفاده شد که بر اساس آن نرم‌افزار برای راه‌هایآمریکایی کارکرد خوبی را از خود نشان داده است و نسبت به سایر نرم‌افزارهای هم‌رده خود ارجحیت دارد(Jones et al.,2004).در سال ۲۰۰۷ وینیوپادیتتحقیقاتی را در دانشگاه Queensland انجام داد که شیوه کنترل رمپ ALINEA را بررسی می‌نمود(Winyoopadit, 2007).در سال ۱۳۸۹ اسکندری و همکاران در دانشگاه تربیت مدرس تهران توسط نرم‌افزار شرکت TSS به بررسی به‌کارگیری همزمان کنترل رمپ و محدودیت سرعت متغیر بر جریان و زمان سفر کل در بزرگراه نیایش تهران پرداختند(اسکندری و فرخ نیا،۱۳۸۹).با توجه به اینکه شبیه‌سازی بر اساس یک مدل Time based صورت پذیرفته است، در هر گام زمانی از شبیه‌سازی فرمول Panis برای یافتن میزان آلاینده تولیدشده هر یک از

[Downloaded from hafthesar.iauh.ac.ir on 2026-10-09]

[DOR: 20.1001.1.23225602.1392.1.4.6.8]

خودروها در آن گام زمانی مورداستفاده قرار می‌گیرد که باوجود یکسان بودن فرمول برای تک‌تک خودروها، ضرایب موجود در فرمول برای انواع مختلف خودروها با انواع سوخت‌ها، مقادیر متفاوتی را به خود اختصاص می‌دهد. این مدل تحت نام مدل انتشار آنی آلاینده (instantaneous emission model)نام‌گرفته است که پارامترهای خروجی آن میزان دی‌اکسید کربن (CO_2) ، اکسیدهای نیتروژن (Nox)، ترکیبات فرار آلی (VOC) و ذرات معلق (PM)هست.یکپارچه ترافیک- انتشار آلاینده (ITEM) همان‌گونه که از نام آن‌هابرمی‌آید، از دو بخش کلی نرم‌افزارشبیه‌ساز و مدل انتشار آلاینده تشکیل‌شده است که این دو در کنار یکدیگر امکان پیش‌بینی و تخمین دقیق مقدار آلاینده تولیدشده در شبکه را به وجود می‌آورند. در این مدل‌ها، ابتداپس از اعمال استراتژی حمل‌ونقلی موردنظر، با توجه به رفتار ترافیکی تک‌تک خودروها میزان آلاینده تولیدشده در شبکه حمل‌ونقلبه‌صورت تقریبی و وابسته به میزان دقت پارامترهای ورودی به شبیه‌ساز به دست می‌آید.پس از پیش‌بینی میزان آلاینده تولیدشده توسط شبکه حمل‌ونقلی، بر اساس وضعیت جغرافیایی و آب‌وهوای منطقه می‌توان میزان آلودگی هوای شهر را برآورد نموده و بر اساس آن عملکرد استراتژی مذکور را سنجید.اما این امر کاملاً به دو بخش اصلی ذکرشده در مدل یکپارچه یعنی مدل شبیه‌سازی ترافیک و مدل انتشار آلاینده‌ها بستگی دارد.

روش تحقیق

شبیه‌سازی میکروسکوپیک ترافیک قابلیت ارزیابی شرایط رانندگی به‌صورتلحظه‌به‌لحظه و آماربرداری از سرعت و شتاب خودروها را در تمامی بازه‌های شبیه‌سازی دارا هست(Barcelo et. al,1996).هر یک از نرم‌افزارهای شبیه‌سازی ترافیک از اجزاء اولیه و زیرساخت‌هایی تشکیل‌شده‌اند که نحوه رفتار رانندگان در مدل را کنترل می‌کند و آن را با رفتار واقعی رانندگان منطبق می‌سازد. از مهم‌ترین این اجزاء مدل‌هایی تحت نام (Car following models) یا مدل‌های تعقیب هستند که مشخص می‌سازند که یک راننده چگونه راننده جلویی را تعقیب می‌کند و سرعت خود را با او مطابقت می‌دهد که نهایتاً سرعت و شتاب هر وسیله در هنگام تردد در شبکه، از این مدل به دست می‌آید. نرم‌افزاری که در این تحقیق مورداستفادهقرارگرفته است، از مدل تعقیب Gipps استفاده می‌کند که اطلاعات سرعت، شتاب و شتاب کاهنده را فراهم می‌سازد و از دو جزء اصلی شتاب و شتاب کاهنده تشکیل‌شده است(Gipps, 1986).

شتاب گیری با تعریف یک سرعت مطلوب برای رانندگان انجام می‌شود که هر راننده تلاش می‌کند به‌سرعت مطلوب تعریف‌شده برای خود دست یابد. در هر گام شبیه‌سازی سرعت نهایی گام محاسبه می‌شود و به‌سرعت قبلی خودرو افزوده می‌گردد. عملیات شتاب گیری تا جایی پیش می‌رود که یا حضور خودروی دیگری در مقابل خودروی موردبررسی مانع افزایش سرعت گردد و یا خودرو به‌سرعت مطلوب خود دست یابد.

در مدل Gipps بیان گردیده است که ماکزیمم سرعت قابل‌دستیابی در بازه زمانی (t,t+T) برای وسیله نقلیه n از فرمول ۱ به دست می‌آید.

$$V_a(n,t+T) = V(n,t) + 2.5\,a(n)T\left(1-\frac{V(n,t)}{V^*(n)}\right)\sqrt{0.025+\frac{V(n,t)}{V^*(n)}} \quad (۱)$$

که در آن :

$V(n,t)$: سرعت وسیله نقلیه n در زمان t

$V^*(n)$: سرعت مطلوب وسیله نقلیه n برای مقطعی از راه که در آن قرار دارد.

$a(n)$: شتاب بیشینه برای وسیله نقلیه n

T : زمان عکس‌العمل(Olstam and Tapani,2001).

از سوی دیگر، بیشینه سرعتی که وسیله نقلیه شماره n در همان بازه زمانی بیان‌شده در فرمول (۱) ولی این بار با حضور یک خودرو در مقابل آن (خودروی شماره n-1) و در همان این و در بازه زمانی (t,t+T) می‌تواند به آن برسد، بر اساس مشخصات خودروها از فرمول (۲) به دست می‌آید :

$$V_b(n,t+T) = d(n)T + \sqrt{d(n)^2T^2 - d(n)\left[2\{x(n-1,t) - s(n-1) - x(n,t)\} - V(n,t)T - \frac{V(n-1,t)^2}{d'(n-1)}\right]} \quad (۲)$$

که در آن :

$d(n)\ (<0)$: بیشینه شتاب کاهنده مطلوب برای وسیله نقلیه n

$x(n,t)$: محل قرارگیری وسیله نقلیه n در زمان t

[Downloaded from hafthesar.iauh.ac.ir on 2026-10-09]
[DOR: 20.1225602.1392.1.4.6.8]

$x(n-1,t)$: محل قرارگیری وسیله نقلیه مقابل $(n-1)$ در زمان t

$s(n-1)$: طول مؤثرمسئله نقلیه $n-1$

$d'(n-1)$: تخمین از شتاب کاهنده وسیله نقلیه $n-1$ (Olstam and Tapani,2001).

در مورد هر یک از خودروها سرعت نهایی لحاظ شده برای خودروی n در مدل در بازه زمانی $(t, t+T)$ از فرمول (۳) به دست می‌آید(TSS, 2010):

$$V(n, t+T) = \min\{V_a(n, t+T), V_b(n, t+T)\} \quad (۳)$$

سپس محل قرارگیری خودرو در مدل توسط فرمول ۴ محاسبه گردیده و به‌روزرسانی می‌شود :

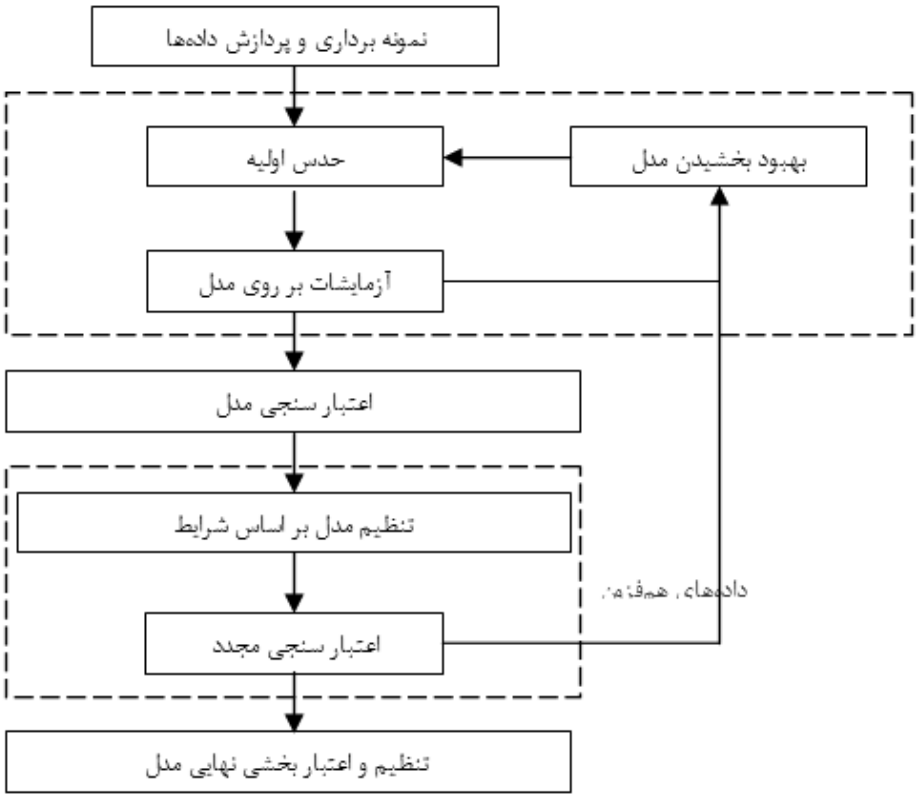
$$x(n, t+T) = x(n, t) + V(n, t+T)T \quad (۴)$$

بر اساس تحقیقات محمود و عیسی در سال ۲۰۰۹، زمان عکس‌العمل در هنگام تعقیب خودروی جلویی عبارت است از زمانی که خودروی عقبی صرف می‌کند تا نسبت به تغییر در عملکرد راننده جلویی عکس‌العمل نشان دهد. در نرم‌افزار دو نوع زمان عکس‌العمل در حال توقف و زمان عکس‌العمل در حال حرکت قابل‌تعریف هست (Mehmood and Easa,2009).

پارامتر بسیار مهم دیگری که در تنظیم پارامترهای شبیه‌ساز به کار گرفته شد، پارامتر زمان عکس‌العمل ترمزگیری (BRT) بود که در برخی از مطالعات پیشین نیز بررسی گردیده بود. زمان عکس‌العمل ترمزگیری فاصله زمانی بین مشاهده ترمزگیری ماشین جلویی یا عبور خودروی در حال عبور از مسیر مقابل در یک تقاطع و آغاز ترمز گیری توسط خودروی موردبررسی است(Summala, 2000).

به‌منظور افزایش دقت و بهره‌وری بیشتر مدل، نیازمند کالیبراسیون مدل بر اساس منطقه پروژه هستیم.

عملیات کالیبراسیون و دقیق سازی مدل ساخته‌شده در نرم‌افزار شبیه‌ساز به‌صورت شما تیک در شکل ۱ نمایش داده‌شده است.



شکل ۱: فرآیند کالیبراسیون نرم‌افزار شبیه‌ساز

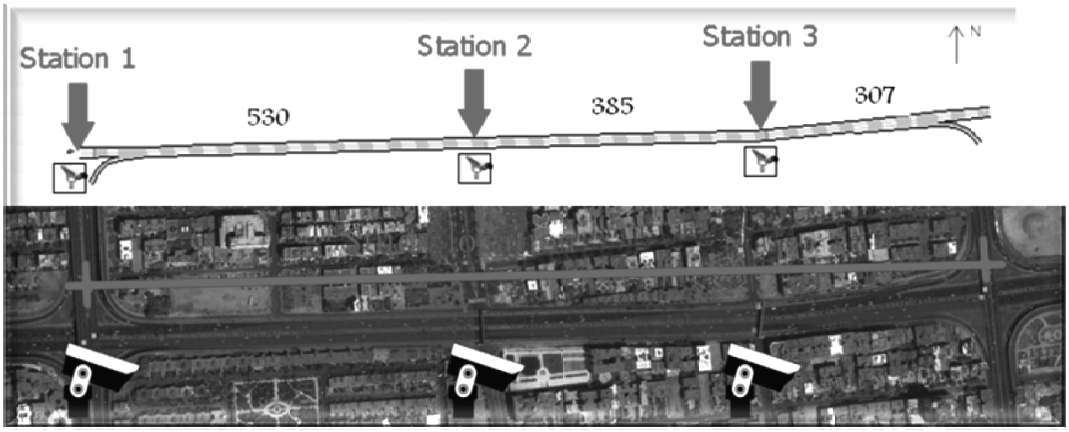
[Downloaded from hafthesar.iauh.ac.ir on 2026-10-09]
[DOR: 20.1001.1.23225602.1392.1.4.6.8]

منطقه موردبررسی و کالیبراسیون مدل

منطقه موردبررسی بخشی از بزرگراه نیایش هست که حدفاصل بولوار شهید پاک‌نژاد و خیابان سعادت‌آبادواقع‌شده است. منطقه موردنظر شامل یک بخش بزرگراهی و دو رمپ ورودی و خروجی بزرگراه بوده و به‌منظور بررسی منطقه، ساعت اوج جریان ترافیک بازه زمانی بین ساعت ۸:۳۵ تا ساعت ۹:۰۵ انتخاب گردید.

همان‌گونه که به‌صورتشماتیک در شکل ۲ نمایش داده‌شده است، برداشت جریان ترافیک از سه‌نقطه و با نصب دوربین‌هایباکیفیتبالا بر فراز بزرگراه انجام گرفت که با توجه به همپوشانی حاصل‌شده از میدان دید دوربین‌ها، در بازه برداشت تمامی لین ما در تمامی طول مقطع موردبررسی در تصاویر ضبط‌شده قابل‌بررسی می‌باشند.تعداد خودروهای عبوری، بر اساس فیلم‌هایبرداشت‌شده از منطقه در هر دوربین در بازه‌های ۵ دقیقه‌ای شمارش گردیده و میانگین آن محاسبه گردید. از این داده‌های حاصل از شمارش جریان به‌منظور تعیین تعداد ورودی خودروها به مدل استفاده شد که علاوه برشمارش خودروها (که در جدول ۱ آمده است)، با در نظر گرفتن شاخص‌های تصویری با طول‌های مشخص که در تمامی فیلم‌ها موجود هستند، قابلیت تعیین سرعت خودروها (بدون ایجاد خطا توسط تحدب لنز دوربین) به وجود آمد.

همچنین برای تخمین زمان عکس‌العمل در حالت توقف ۴۰ خودرو موردبررسی قرار گرفتند. زمان عکس‌العمل در حالت توقف به‌عنوان زمان متوسط میان حرکت خودروی جلویی و آغاز حرکت خودروی عقبی در نظر گرفته شد که این مقدار به‌طور متوسط برابر ۱.۴۵ ثانیه در نظر گرفته شد.



شکل ۲: محل نصب دوربین‌ها در بزرگراه نیایش و فاصله هر یک از ایستگاه‌های برداشت در شکل نمایش داده‌شده است.

جدول ۱: تعداد خودروهای حاصل از برداشت

بازه زمانی	اتوبوس	کامیون	سواری
۸:۴۰–۸:۳۵	۱	۲	۵۰۵
۸:۴۵–۸:۴۰	۴	۲	۶۳۳
۸:۵۰–۸:۴۵	۰	۸	۵۳۴
۸:۵۵–۸:۵۰	۴	۳	۴۸۶
۹:۰۰–۸:۵۵	۶	۳	۴۷۹
۹:۰۵–۹:۰۰	۴	۰	۴۲۹
مقدار کل	۱۹	۱۸	۳۰۶۶
درصد از کل وسایل	۰.۶	۰.۵	۹۸.۸

[Downloaded from hafthesar.iauh.ac.ir on 2026-10-09]
[DOR: 20.1225602.1392.1.4.6.8]

نمایی از بزرگراه از دید دوربین نصب‌شده در ایستگاه ۱ در شکل ۳ (بالا) مشاهده می‌گردد. با استفاده از تصاویر به‌دست‌آمده از دوربین‌ها و این موضوع که عکس‌العمل ترمزگیری به‌عنوان فاصله زمانی بین ترمز گرفتن خودرو جلویی و خودروی عقبی در نظر گرفته‌شده است.این زمان عملاً مساوی بافاصله زمانی بین روشن شدن چراغ‌ترمز خودرو جلویی و روشن شدن چراغ‌ترمز خودرو عقبی فرض گردیده است. با مطالعه ۴۰ جفت از خودروها زمان عکس‌العمل متوسط برابر با ۱ ثانیه فرض گردید.

شکل ۳: چپ: تصویر برداشت‌شده دوربین نصب‌شده در ایستگاه ۱ و راست: دوربین مجاز نصب‌شده در مدل ساخته‌شده برای بزرگراه پس از کالیبره کردن مدل.

بر اساس اطلاعات ارائه‌شده توسط خودروسازهای داخلی و وزن دهی این اطلاعات بر اساس تعداد خودروهای موجود در کشور از هر نوع، مقدار انحراف معیار، میانگین، ماکزیمم و مینیمم برای بیشینه شتابی که خودروها قابلیت دستیابی به آن رادارند به دست آمد. به‌طور مشابه میزان بیشینه شتاب کاهنده در قالب انحراف معیار، میانگین، ماکزیمم و مینیمم برحسب متر بر مجذور ثانیه محاسبه گردید. این شتاب کاهنده زمانی اعمال می‌گردد که راننده بخواهد در موقعیت‌های اضطراری در کمترین زمان ممکن خودرو را متوقف سازد. برای موقعیت شرایط رانندگی معمولی عمدتاً از پارامتر دیگری به نام شتاب کاهنده معمولی (Normal Deceleration) استفاده می‌گردد. این شتاب کاهنده در سال ۱۳۸۸ توسط سادات حسینی و وزیری در یک بزرگراه بین‌شهری محاسبه گردیده است که مقدار آن برابر 5m/s2 محاسبه گردیده است(Sadat Hoseini and Vaziri, 2009).

جدول ۲: مقادیر شتاب افزاینده و کاهنده لحاظ شده در مدل

	انحراف معیار	میانگین	کمینه	بیشینه
بیشینه شتاب افزاینده	۲/۰۴	۲/۲۵	۱/۵	۴/۳
شتاب کاهنده در شرایط عادی	۰	۵	۵	۵
شتاب کاهنده بیشینه	۲/۳۲	۶/۱	۶/۷	۶/۹

در کنار برداشت از سه دوربین نصب‌شده بر فراز بزرگراه، یک خودروی سواری مجهز به GPS با قابلیت سنجش و ثبت سرعت به‌صورت دقیق، در شبکه قرار گرفت که به همراه جریان ترافیک در بازه برداشت، ۳ بار از منطقه مورد برداشت عبور کرده و سرعت جریان ترافیک و زمان سفر را با دقت ثبت نمود.

اطلاعات حاصل از عبور این خودرو که به خودروی شناور (Floating Car) موسوم است، با داده‌های حاصل از شبیه‌سازی مقایسه گردیده و بر اساس آن پارامترهای شبیه‌ساز به‌گونه‌ای تنظیم شدند که سرعت متوسط جریان که از شبیه‌ساز به‌دست‌آمده است و توزیع خودروها در لینهای مختلف، با آنچه در واقعیت مشاهده گردید یکسان باشد.علاوه بر برداشت‌هایذکرشده فوق که به‌منظوراعتباربخشی به مدل صورت گرفت، برداشت دیگری در ساعت ۹:۳۰ الی ۱۰ صورت گرفت که به همراه Floating Car و تصویربرداری از بالا از جریان ترافیک صورت پذیرفت که مقادیر حاصل از این برداشت در کنار مقادیر حاصل از برداشت قبلی در جدول ۳ نمایش داده‌شده است.

نمودار ارائه‌شده در شکل ۴ برداشت‌های حاصل از شبیه‌سازی را در کنار برداشت‌های محلی به‌دست‌آمده از خودروی شناور نشان می‌دهد که انطباق نسبتاً قابل قبولی را از خود نشان می‌دهد.

[Downloaded from hafthesar.iauh.ac.ir on 2026-10-09]
[DOR: 20.1001.1.23225602.1392.1.4.6.8]

جدول ۳: اطلاعات حاصل از برداشت دوم (به‌منظور حصول اطمینان از صحت عملکرد مدل)

نوبت برداشت	زمان سفر (S)	فاصله پیموده شده (Km)	سرعت متوسط (Km/hr)	سرعت متوسط نهایی (Km/hr)
برداشت اول 8:43	139	1.24	35.46	35.45
برداشت دوم 8:54	183	1.24	24.39	
برداشت سوم 9:00	96	1.24	46.50	
برداشت اول 9:34	102	1.24	43.76	50.51
برداشت دوم 9:48	86	1.24	51.91	
برداشت سوم 9:56	63	1.24	55.86	

مدل نوین تخمین میزان انتشار آلاینده‌ها

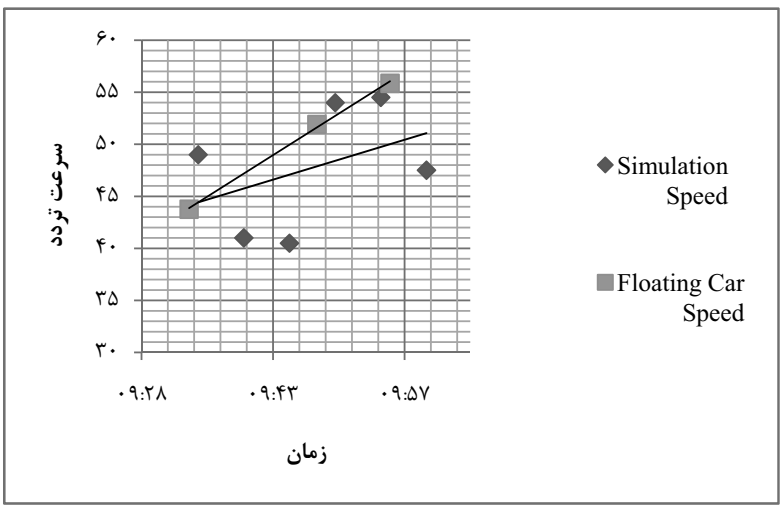
اکسیدهای نیتروژن (NOx)، ترکیبات آلی فرار (VOC)، دی‌اکسید کربن (CO2) و ذرات معلق (PM) توسط معادله ارائه‌شده در این بخش مدل‌سازی می‌گردد. از میان تمامی آلاینده‌های موجود چهار آلاینده فوق بر اساس پتانسیل آن‌ها در ضربه به‌سلامت انسان انتخاب گردیده‌اند. سایر آلاینده‌ها تأثیرات به مراتب کمتری بر سلامت انسان می‌گذارند و سهم آن‌ها از بار آلاینده‌های مخرب سلامت انسان در حداقل میزان خود فرض می‌گردد. یک تابع کلی برای آلاینده‌های تولیدشده در شبکه به‌صورت ارائه‌شده در معادله (۵) هست(Panis et al., 2006):

$$E_n(t)= Max [E_0, f_1 + f_2 v_n (t)+ f_3 v_n (t)^2+ f_4 a_n (t)+ f_5 a_n (t)^2+ f_6 v_n (t) a_n (t)] \quad (۵)$$

که در آن $v_n(t)$ سرعت لحظه‌ای خودروی n در زمان t است که از معادله (۱) و (۲) به دست می‌آید.
پارامتر $a_n(t)$ نمایانگر شتاب وسیله نقلیه n در لحظه t است که از معادله (۶) برای محاسبه آن استفاده می‌گردد.

$$a_n(t + \Delta t) = [V_n(t + \Delta t) - V_n(t)]/\Delta t \quad (۶)$$

مقدارΔtبرابر با گام زمانی شبیه‌سازی و سرعت وسیله n در زمان t و$V_n(t + \Delta t)$ سرعت وسیله نقلیه پس از سپری شدن یک گام زمانی شبیه‌سازی است(Panis et al., 2006). در معادله (۵) مقدار E_0 حد پایین تولید آلاینده برحسب(g/s) است که برای هر نوع از وسیله نقلیه و آلاینده به‌طور مجزا تعریف می‌گردد. مقادیر F_1 تا F_6ثابت‌های لحاظ شده برای هر گروه آلاینده‌ها و وسایل نقلیه می‌باشند که از آنالیز رگرسیونی به‌دست‌آمده‌اند. برای برخی از آلاینده‌ها فرم متفاوتی برای شتاب افزاینده که به فرم $a_n(t) \geq 0.5\ m/s^2$ و شتاب کاهنده که به فرم $a_n(t) < 0.5\ m/s2$ تعریف می‌شود را می‌توان در مدل وارد نمود. بر اساس سهم بخش حمل‌ونقل بار و نوع سوخت مصرفی این بخش، ظرفیت موتور و همچنین استاندارد آن تابع متوسطی برای هر یک از آلاینده‌ها محاسبه می‌گردد. ضرایب معادله (۵) بر اساس چهار آلاینده اصلی موردبررسی، برای خودروهای از نوع سواری، HDV و اتوبوس محاسبه گردیده و در جدول ۴ ارائه‌شده‌اند.



شکل ۳: مقایسه سرعت به‌دست‌آمده از مدل و سرعت به‌دست‌آمده از خودروی شناور (نماینده سرعت متوسط جریان واقعی)

[Downloaded from hafthesar.iauh.ac.ir on 2026-10-09]
[DOR: 20.1225602.1392.1.4.6.8]

هر تابع برای پیش‌بینی مقدار انتشار آلاینده‌ها در شرایط واقعی توسط Panis و همکارانش به کار گرفته‌شده است و نتایج مطلوبی را در پیش‌بینی مقادیر آلاینده‌ها ارائه نموده است[۱۳].

آلاینده	نوع وسیله نقلیه	E_0	f_1	f_2	f_3	f_4	f_5	f_6
دی‌اکسیدکربن	خودروی بنزین سوز	0	5.53×10^{-1}	1.61×10^{-1}	-2.89×10^{-3}	2.66×10^{-1}	5.11×10^{-1}	1.83×10^{-1}
	خودروی گازوئیل سوز	0	3.24×10^{-1}	8.59×10^{-2}	4.96×10^{-3}	-5.86×10^{-2}	4.48×10^{-1}	2.30×10^{-1}
	خودروی گازسوز (گاز مایع)	0	6.00×10^{-1}	2.19×10^{-1}	-7.74×10^{-3}	3.57×10^{-1}	5.14×10^{-1}	1.70×10^{-1}
	خودروی HDV	0	1.52	1.88	-6.95×10^{-2}	4.71	5.88	2.09
	اتوبوس	0	9.04×10^{-1}	1.13	-4.27×10^{-2}	2.81	3.45	1.22
اکسیدهای نیتروژن	خودروی بنزین سوز	0	6.19×10^{-4}	8.00×10^{-5}	-4.03×10^{-6}	-4.13×10^{-4}	3.80×10^{-4}	1.77×10^{-4}
	خودروی بنزین سوز $(a < -0.5\,m/s^2)$	0	2.17×10^{-4}	۰	۰	۰	۰	۰
	خودروی گازوئیل سوز $(a \geq -0.5\,m/s^2)$	0	2.41×10^{-3}	-4.11×10^{-4}	6.73×10^{-5}	-3.07×10^{-3}	2.14×10^{-3}	1.50×10^{-3}
	خودروی گازوئیل سوز $(a < -0.5\,m/s^2)$	0	1.68×10^{-3}	-6.62×10^{-5}	9.00×10^{-6}	2.50×10^{-4}	2.91×10^{-4}	1.20×10^{-4}
	خودروی گازسوز (گاز مایع) $(a \geq -0.5\,m/s^2)$	0	8.92×10^{-4}	1.61×10^{-5}	-8.06×10^{-7}	-8.23×10^{-5}	7.60×10^{-5}	3.54×10^{-5}
	خودروی گازسوز (گاز مایع) $(a < -0.5\,m/s^2)$	0	3.43×10^{-4}	۰	۰	۰	۰	۰
	خودروی HDV	0	3.56×10^{-2}	9.71×10^{-3}	-2.40×10^{-4}	3.26×10^{-2}	1.33×10^{-2}	1.15×10^{-2}
	اتوبوس	0	2.36×10^{-2}	6.51×10^{-3}	-1.70×10^{-4}	2.17×10^{-2}	8.94×10^{-3}	7.57×10^{-3}
ترکیبات آلی فرار	خودروی بنزین سوز $(a \geq -0.5\,m/s^2)$	0	4.47×10^{-3}	7.32×10^{-7}	-2.87×10^{-8}	-3.41×10^{-6}	4.94×10^{-6}	1.66×10^{-6}
	خودروی بنزین سوز $(a < -0.5\,m/s^2)$	0	2.63×10^{-3}	۰	۰	۰	۰	۰
	خودروی گازوئیل سوز $(a \geq -0.5\,m/s^2)$	0	9.22×10^{-5}	9.09×10^{-6}	-2.29×10^{-7}	-2.20×10^{-5}	1.69×10^{-5}	3.75×10^{-6}
	خودروی گازوئیل سوز $(a < -0.5\,m/s^2)$	0	5.25×10^{-5}	7.22×10^{-6}	-1.87×10^{-7}	0	-1.02×10^{-5}	-4.22×10^{-6}
	خودروی گازسوز (گاز مایع) $(a \geq -0.5\,m/s^2)$	0	1.44×10^{-2}	1.74×10^{-7}	-6.82×10^{-9}	-8.11×10^{-7}	1.18×10^{-6}	3.96×10^{-7}
	خودروی گازسوز (گاز مایع) $(a < -0.5\,m/s^2)$	0	8.42×10^{-3}	۰	۰	۰	۰	۰
	خودروی HDV	0	1.04×10^{-3}	4.87×10^{-4}	-1.49×10^{-5}	1.27×10^{-3}	2.10×10^{-4}	1.00×10^{-4}
	اتوبوس	0	1.55×10^{-3}	8.20×10^{-4}	-2.42×10^{-5}	1.86×10^{-3}	3.21×10^{-4}	1.36×10^{-4}

[Downloaded from hafthesar.iauh.ac.ir on 2026-10-09]
[DOR: 20.1001.1.23225602.1392.1.4.6.8]

ذرات معلق	خودروی بنزین سوز	0	۰	1.57×10^{-5}	-9.21×10^{-7}	۰	3.75×10^{-5}	1.89×10^{-5}
	خودروی گازوئیل سوز	0	۰	3.13×10^{-4}	-1.84×10^{-5}	۰	7.50×10^{-4}	3.78×10^{-4}
	خودروی گازسوز (گاز مایع)	0	۰	1.57×10^{-5}	-9.21×10^{-7}	۰	3.75×10^{-5}	1.89×10^{-5}
	خودروی HDV	0	2.14×10^{-4}	3.35×10^{-4}	-2.22×10^{-5}	2.07×10^{-3}	1.80×10^{-3}	2.27×10^{-4}
	اتوبوس	0	2.23×10^{-4}	3.47×10^{-4}	-2.38×10^{-5}	2.08×10^{-3}	1.76×10^{-3}	2.23×10^{-4}

جدول ۴ : ضرایب معادله(۵)(Panis et al., 2006)

ضرایب جدول ۴ با مقادیر ۸۰٪ برای خودروهای بنزین سوز و ۲۰ ٪ برای خودروهای گازسوز، در محاسبات منظور گردیده است.

نتایج به‌دست‌آمده از مدل‌سازی

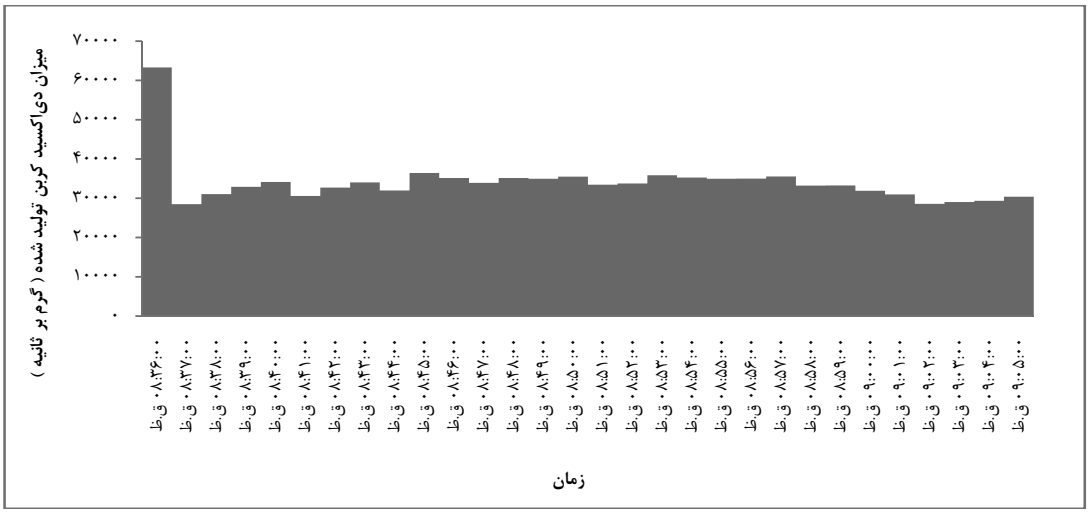
مدل‌سازی وضعیت شبکه بر اساس برداشت‌های صورت گرفته از منطقه بزرگراه نیایش که در بخش پیش بیان شد صورت پذیرفته است. به‌منظور مقایسه تأثیر استراتژی کاهش سرعت تردد خودروها تا حد سرعت اعلام‌شده از سوی سازمان بهینه‌سازی مصرف سوخت، دو نوع مدل‌سازی در فضای نرم‌افزار صورت گرفت که مدل‌سازی اول بر اساس وضعیت عادی شبکه بر اساس برداشت‌های واقعی و بدون اعمال هیچ‌گونه سیاست مدیریت آلودگی صورت گرفت و مدل‌سازی دوم بر اساس اعمال سیاست کاهش سرعت خودروها در شبکه انجام شد که منجر به کاهش آلودگی تولیدشده توسط خودروها گردید. به‌منظور به دست آوردن هرچه دقیق‌ترخروجی‌های مدل، در ابتدا چندین مدل پایلوت اجرا گردید و سپس مدل اصلی با سه تکرار شبیه‌سازی‌شده و از داده‌های خروجی شبیه‌ساز میانگین گرفته شد.

آلودگی در حالت عادی بدون اعمال سیاست مدیریت شبکه

به‌منظور مقایسه حالتی که هیچ سیاست مدیریتی ترافیکی بر شبکه اعمال نشده است، باحالت اعمال سیاست مدیریت ترافیک در شبکه، در ابتدا شبیه‌سازی وضعیت شبکه بدون اعمال سیاست‌های مدیریت ترافیک انجام گرفت.

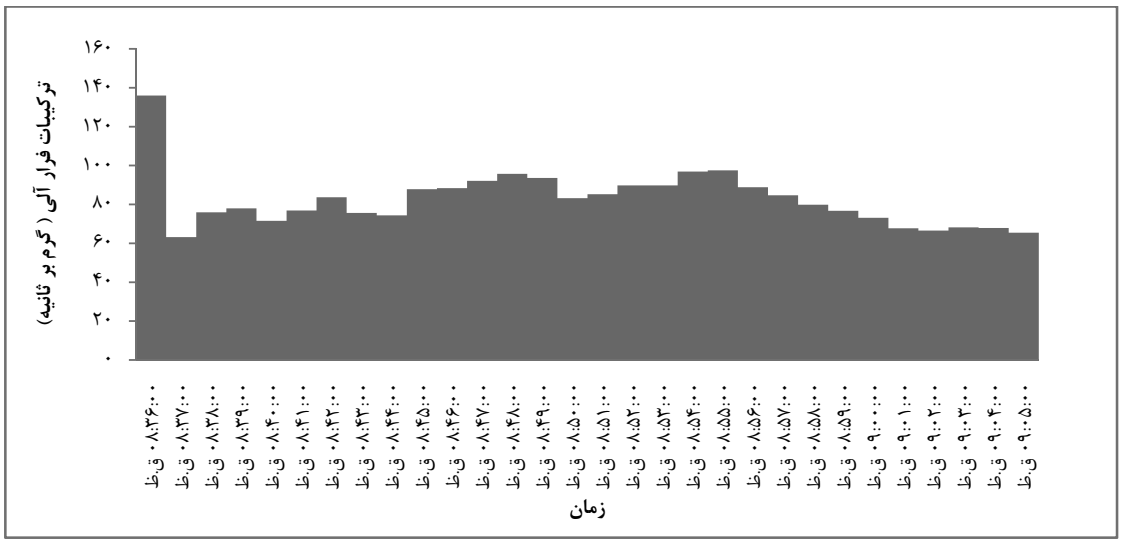
همان‌گونه که در بخش پیش بیان گردید خروجی‌هایی که مدل یکپارچه شبیه‌سازی ترافیک و مدل Instantaneous Emission ارائه می‌دهد به چهار دسته تقسیم می‌گردد. اکسیدهای نیتروژن (NOx)، ترکیبات آلی فرار (VOC)، دی‌اکسید کربن (CO2) و ذرات معلق (PM)که بر اساس پتانسیل آن‌ها در ضربه به‌سلامت انسان انتخاب گردیده‌اند .سایر آلاینده‌ها تأثیراتبه‌مراتب کمتری بر سلامت انسان می‌گذارند و سهم آن‌ها از بار آلاینده‌های مخرب سلامت انسان در حداقل میزان خود فرض می‌گردد. در این سناریو نیز این چهار آلاینده شاخص به‌منظور قضاوت در مورد وضعیت شبکه به کار گرفته شدند. پس از آغاز مدل‌سازی در ساعت ۸:۳۶:۰۰، در هر دقیقه میزان تولید آلاینده CO2 در شبکه به دست آمد و پس از میانگین گرفتن از داده‌های به‌دست‌آمده، نمودار نمایش داده‌شده در شکل ۴ به دست آمد.با توجه به اینکه در ابتدای آغاز شبیه‌سازی مدل، شبکه خالی از خودرو هست و تمامی خودروها، عملاً با سرعتی معادل سرعت آزاد خود (FFS) حرکت می‌کنند، و عملاً برای رسیدن به این سرعت باید در طول شبکه اقدام به‌شتاب گیری نمایند، بنابراین در دقیقه اول شبیه‌سازی، شاهد جهش قابل‌توجهی در میزان دی‌اکسید کربن تولیدشده در شبکه هستیم. سپس با آرام‌تر شدن عبور خودروها به دلیل افزایش تراکم عبور آن‌ها، به‌طور ناگهانی شاهد افت شدید در تولید دی‌اکسید کربن بوده و پس از گذشت زمان، به‌مرور شاهد افزایش اندک در مقدار دی‌اکسید کربن تولیدی هستیم که دلیل آن افزایش بیش‌ازپیش تراکم و حرکت آکاردئونی خودروها همراه با افزایش و کاهش سرعت‌های متوالی است.

[Downloaded from hafthesar.iauh.ac.ir on 2026-10-09]
[DOR: 20.1225602.1392.1.4.6.8]



شکل ۴: میزان تولید دی‌اکسید کربن در شبکه بدون اعمال استراتژی مدیریت شبکه

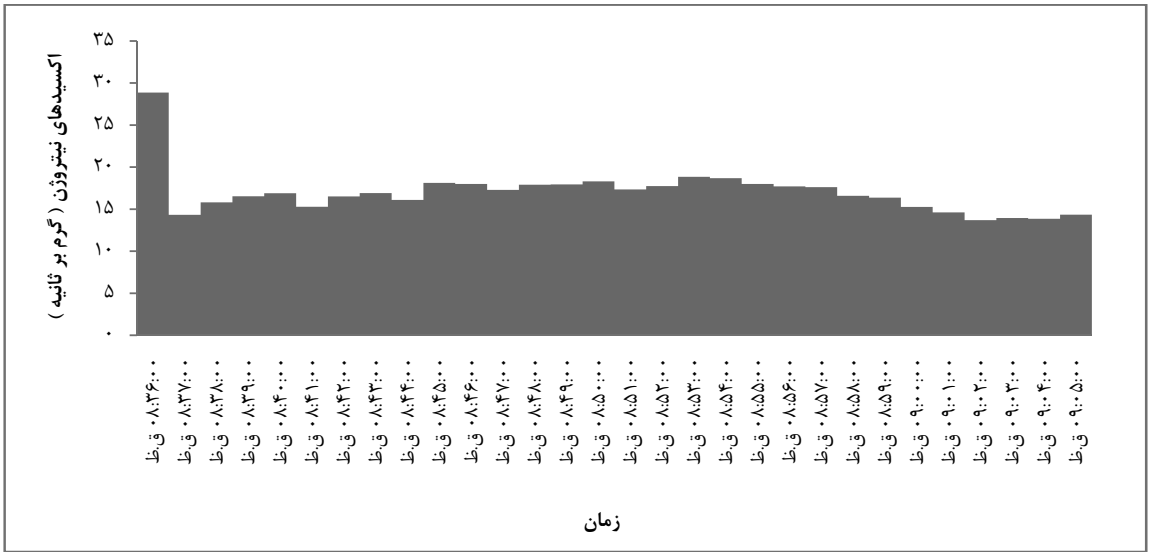
شکل ۵ نمایانگر تغییرات تولید آلاینده‌های آلی فرار در طول دوره شبیه‌سازی هست. این شکل نشان می‌دهد که افزایش سرعت در ابتدای شبیه‌سازی و شتابگری خودروها در مسیر توانسته است میزان تولید ترکیبات آلی فرار در شبکه را تا ۲ برابر مقدار میانگین افزایش دهد که عملاً این موضوع، همان‌گونه که در مورد دی‌اکسید کربن بیان شد، پس از گذشت یک دقیقه از آغاز شبیه‌سازی کاملاً برطرف شده و نمودار تولید این آلاینده نیز نمایانگر یک ماکزیمم نسبی در ساعت ۸:۵۳ هست.



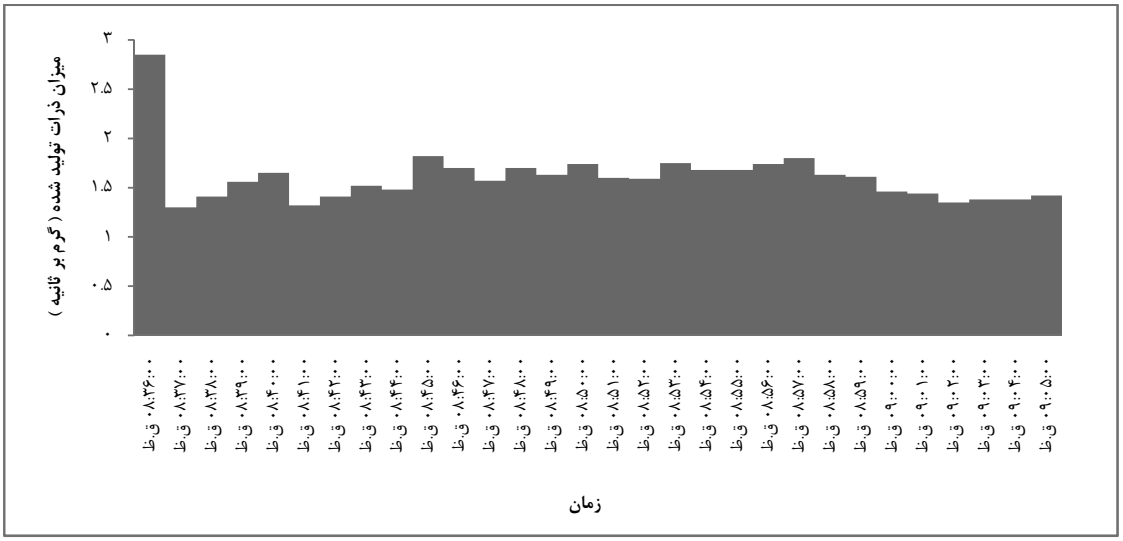
شکل ۵: میزان تولید ترکیبات آلی فرار در شبکه بدون اعمال استراتژی مدیریت شبکه

روندی که در مورد دی‌اکسید کربن و ترکیبات آلی فرار بیان گردید، در مورد اکسیدهای نیتروژن و ذرات ریز معلق در هوا نیز صادق است که نمودار مربوط به این آلاینده‌ها به ترتیب در شکل ۶ و ۷ قابل‌مشاهده و بررسی هست.

[Downloaded from hafthesar.iauh.ac.ir on 2026-10-09]
[DOR: 20.1001.1.23225602.1392.1.4.6.8]



شکل ۶: میزان تولید اکسیدهای نیتروژن در شبکه، بدون اعمال استراتژی مدیریت شبکه



شکل ۷: میزان تولید ذرات معلق در شبکه، بدون اعمال سیاست مدیریت شبکه

بر اساس هر یک از شکل‌های ۴ الی ۷ بر اساس مدل تولید آلاینده موجود در نرم‌افزار در هر دقیقه میزان آلاینده تولیدشده در شبکه برآورد گردید و سپس از تمامی آلاینده‌هایتولیدشده در شبکه در هر دقیقه میانگین گرفته شد تا میزان آلاینده تولیدشده در شبکه به‌صورت متوسط به‌گونه‌ای که در جدول ۵ نشان داده‌شده است به دست آید. همچنین مقدار متوسط مصرف سوخت در هر ثانیه از شبیه‌سازی در جدول ۵ نشان داده‌شده است.

جدول ۵: خروجی‌های نهایی مدل بدون اعمال سیاست کاهش سرعت

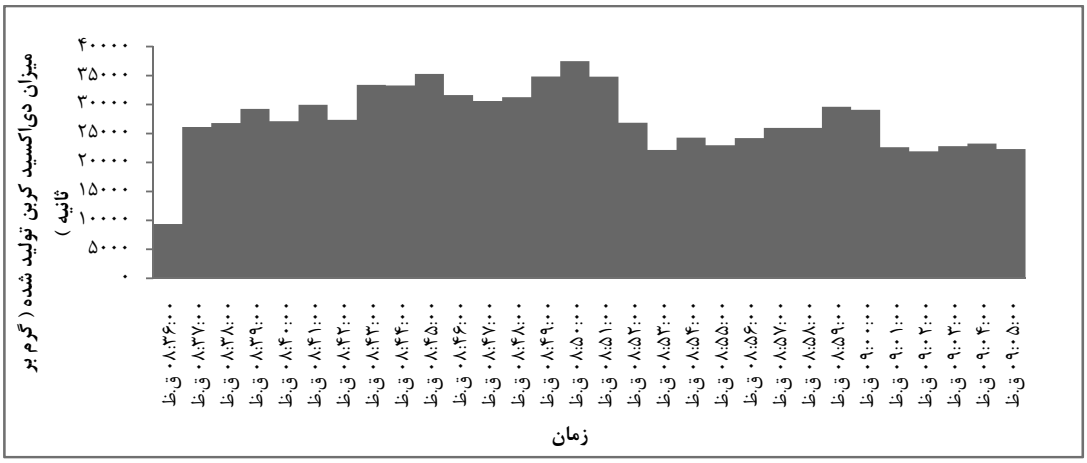
Value	Time Serie
1020060.0	IEM CO2 Emission, متوسط in (g/s)
510.0	IEM NOx Emission, متوسط in (g/s)
48.3	IEM PM Emission, متوسط in (g/s)
2448.8	IEM VOC Emission, متوسط in (g/s)

[Downloaded from hafthesar.iauh.ac.ir on 2026-10-09]
[DOR: 20.1225602.1392.1.4.6.8]

آلودگی در حالت اعمال استراتژی کاهش سرعت

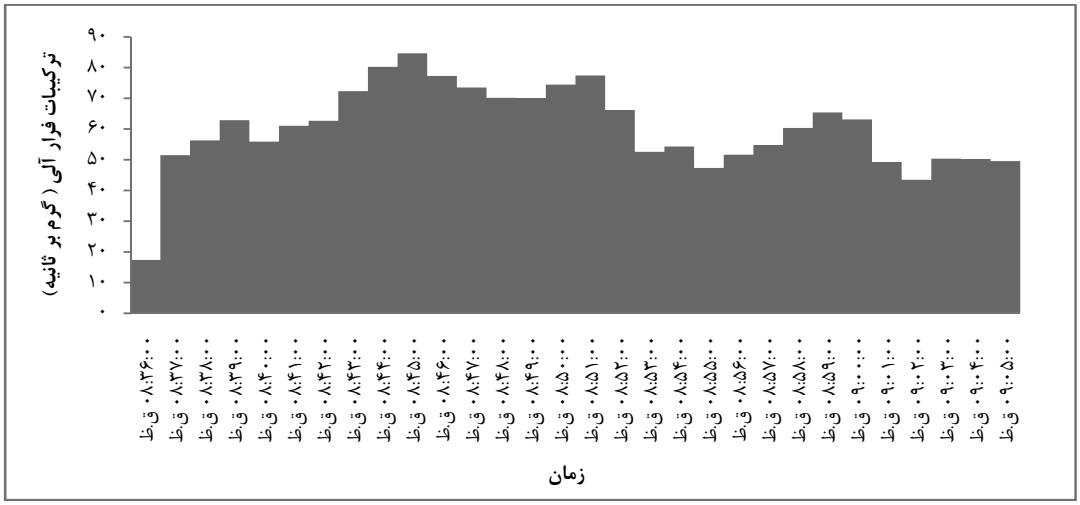
با توجه به نمودارهای مربوط به میزان تولید آلاینده‌های خودروها، سرعتی به نام (Minimum consumption Speed) (قابل‌تعریف است که در آن خودرو کمترین میزان مصرف سوخت و تولید آلاینده را دارا هست. یکی از راهکارهای کاهش تولید آلاینده از سوی خودروها می‌تواند محدود ساختن خودروها در بازه مشخصی از سرعت باشد که درصورتی‌که این بازه به میانگین وزنی (Minimum Consumption Speed) خودروهای عبوری نزدیک باشد می‌توان تولید آلاینده‌ها و مصرف سوخت را کاهش داد.در این بررسی با توجه به آنچه سازمان بهینه‌سازی مصرف سوخت کشور در رسانه‌ها اعلام نموده است با استفاده از VSLها سرعت خودروها به ۹۰ کیلومتر بر ساعت محدود گردید.استفاده از تابلوهای نمایشگر محدودیت سرعت VSL در مهروموم‌های اخیر رواج زیادییافته است که محدودیت سرعت در این تابلوها هم به‌صورت دستی و هم به‌صورتیک برنامه زمان‌بندی‌شده در ساعات مختلف شبانه‌روزسرعت‌های دلخواه را نمایش می‌دهد. همچنین امکاناتی فراهم است که به تابلوها این توانایی را می‌دهد تا از طریق سیگنال‌های ماهواره‌ای و تلفن همراه از راه دور نیز قابل‌تغییر باشد.بعضی کاربردهایVSLبه‌این‌ترتیباست که به رانندگان این اطمینان داده می‌شود که اگر با سرعت‌های بالاتری حرکت کنند شرایط ایمن همچنان برقرار است و این عمل سبب خواهد تا از ازدحام و تراکم جلوگیری شود. تابلوهایVSL برای بهبود جریان ترافیک در یک محدوده خاص با فراهم کردن محدودیت سرعت واقع‌بینانه‌تر که قادر خواهد ساخت وسایل نقلیه در یک سرعت افزایش‌یافته حرکت کنند و تأخیر را کاهش دهند، استفاده می‌شود.

با اعمال استراتژی کاهش سرعت، همچنان که در شکل ۸ مشاهده می‌شود، دی‌اکسید کربن تولیدشده کاهش چشمگیری را از خود نشان می‌دهد.



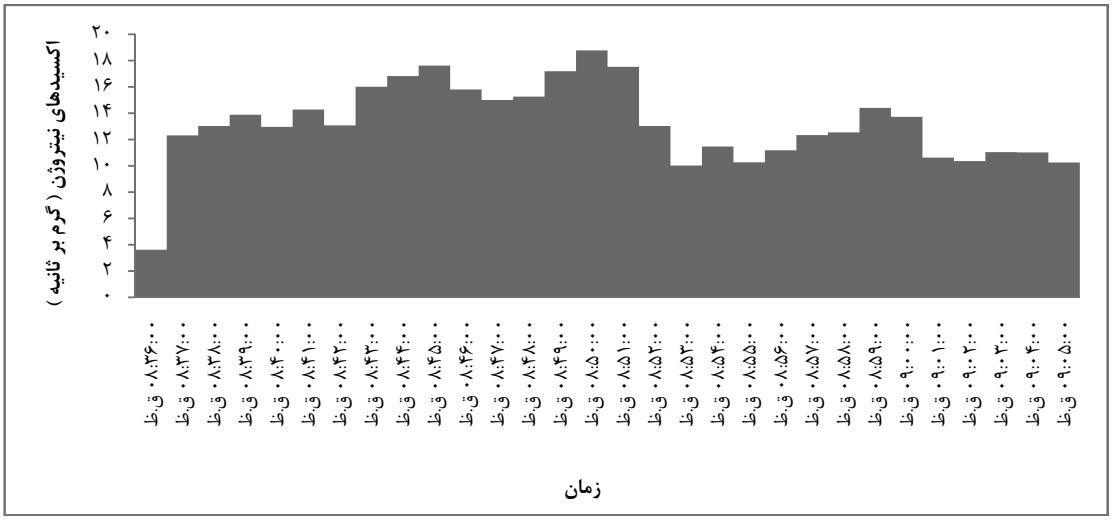
شکل ۸: دی‌اکسید کربن تولیدشده در حالت اعمال استراتژی کاهش سرعت

اشکال ۹، ۱۰ و ۱۱ به ترتیب بیانگر میزان تولید ترکیبات آلی فرار، اکسیدهای نیتروژن و ذرات معلق تولیدشده در شبکه می‌باشند.

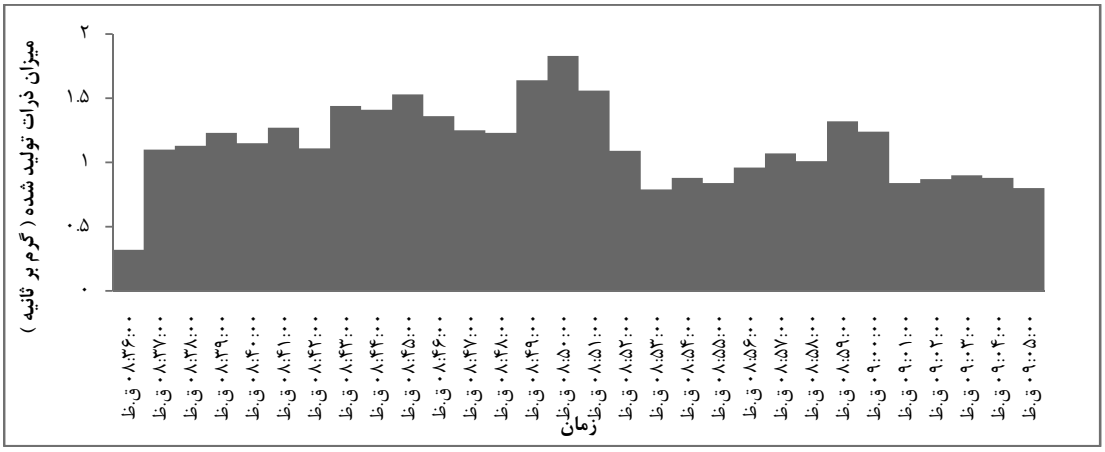


شکل ۹: ترکیبات آلی تولیدشده در حالت اعمال استراتژی کاهش سرعت

[Downloaded from hafthesar.iauh.ac.ir on 2026-10-09]
[DOR: 20.1001.1.23225602.1392.1.4.6.8]



شکل ۱۰: اکسیدهای نیتروژن تولیدشده در حالت اعمال استراتژی کاهش سرعت



شکل ۱۱: ذرات معلق تولیدشده در حالت اعمال استراتژی کاهش سرعت

با محاسبه میانگین داده‌های ارائه‌شده در شکل ۸ الی ۱۱ برای تمام بازه‌های یک‌دقیقه‌ایشبیه‌سازی‌شده، مقادیر موجود در جدول ۶ به‌دست‌آمده‌اند که نمایانگر کاهش بسیار قابل‌توجه در مقادیر تولید آلاینده در شبکه می‌باشند.

جدول ۶: مقادیر خروجی شبکه در حالت استفاده از استراتژی کاهش سرعت

Value	Time Serie
806156.0	IEM CO2 Emission, متوسط in (g/s)
387.7	IEM NOx Emission, متوسط in (g/s)
33.4	IEM PM Emission, متوسط in (g/s)
1747.2	IEM VOC Emission, متوسط in (g/s)

نتیجه‌گیری

بر اساس آنچه انتظار می‌رفت، با توجه به اینکه تردد با سرعت Minimum Consumption Speed، موجب کاهش میزان آلاینده تولیدشده توسط تک‌تک خودروها می‌گردد، بنابراین انتظار می‌رفت ایجاد محدودیت سرعت برای خودروها موجب کاهش چشمگیر تولید آلاینده‌ها گردد. بر اساس شبیه‌سازی صورت گرفته این استراتژی توانسته است میزان تولید آلاینده دی‌اکسید کربن را از ۱۰۲۰۰۶۰گرم در هر ثانیه به ۸۰۶۱۵۶ گرم در هر ثانیه برساند که با ۲۱۳۹۰۴ گرم کاهش، عملاً کاهشی ۲۰ درصدی را از خود نشان می‌دهد.در مورد ترکیبات آلی فرار تولیدشده در شبکه، اعمال استراتژی کاهش سرعت منجر به تغییر میزان تولید این آلاینده از ۲۴۴۸.۸ گرم در هر ثانیه

[Downloaded from hafthesar.iauh.ac.ir on 2026-10-09]
[DOR: 20.1225602.1392.1.4.6.8]

حرکت تمامی خودروها در شبکه به ۱۷۴۷.۲ گرم در هر ثانیه شده است که کاهشی معادل ۷۰۱.۶ گرم در هر ثانیه از فعالیت شبکه را نشان می‌دهد که بنابراین، پارامتر مذکور قریب به ۲۸ درصد کاهش داشته است.اکسیدهای نیتروژن یکی از خطرناک‌ترین آلاینده‌های زیست‌محیطی هستند که با اعمال استراتژی کاهش سرعت تا ۲۴٪ کاهش داشته و از ۵۱۰ گرم در هر ثانیه به ۳۸۷.۷ گرم در هر ثانیه رسیده‌اند.همچنین این کاهش برای ذرات معلق (PM) تولیدشده در شبکه در حدود ۳۰ ٪ بوده است و با کاهش ۱۴.۹ گرم در هر ثانیه، از ۴۸.۳ گرم در ثانیه به ۳۳.۴ گرم رسیده است.

بر اساس مشاهدات صورت گرفته، اعمال استراتژی کاهش سرعت می‌تواند عملیاتی کارساز درزمینهٔ کاهش آلودگی‌هایتولیدشده در شبکه باشد که برخلاف برخی از راهبردها مانند اعمال طرح زوج یا فرد که رانندگان را از استفاده از خودروی خود بازمی‌دارد و موجب نارضایتی آنان می‌شود، اجازه استفاده از خودرو را به‌تمامی رانندگان می‌دهد و تنها با اندکی کاهش سرعت تأثیر خود را در کاهش آلودگی تولیدشده در هر ثانیه از کارکرد شبکه نشان می‌دهد. این میزان کاهش درصورتی‌که استراتژی در تمامی بزرگراه‌های شهر اعمال گردد اثر بسیار چشمگیری در کاهش میزان تولید آلاینده در شبکه خواهد داشت و با بررسی‌های بیشتر، عملاً می‌تواند به یکی از راهبردهای مدیریت بحران شبکه حمل‌ونقل شهر تهران مبدل شود.

تشکر و قدردانی

در پایان‌بر خود لازم می‌دانیم که از حمایت‌ها و کمک‌های ارزنده علمی صورت گرفته از سوی مسئولین محترم شرکت کنترل کیفیت هوای تهران قدردانی نموده و از خداوند منان توفیق روزافزون ایشان را مسألت نماییم.

فهرست مراجع

۱- ح. اسکندری، ن. فرخ نیا (۱۳۸۹)، ارزیابی اثر همزمان کنترل رمپ و محدودیت سرعت متغیر بر جریان و زمان سفر کل بزرگراه نیایش با رویکرد شبیه‌سازی میکروسکوپیک، *دهمین کنفرانس بین‌المللی حمل‌ونقل و ترافیک تهران*، تهران

2- Barcelo J., Casas J., E. Codina, Fernandez A., Ferrer J.L., Garcia D. & Grau R., 1996. PETRI: A parallel environment for a real-time traffic management and information system. *In, Proceedings of the 3rd World Congress on ITS (CD-ROM*), Orlando, Florida.

3- Gipps P.G. (1986), A model for the structure of lane-changing decisions, Transportation Research-Part B, 5, p 403–414.

4- Jones L. S., Sullivan A. J. & Cheekoti N. (2004), *Traffic Simulation Software Comparison Study , Department of Civil and Environmental Engineering* ,The University of Alabama at Birmingham Birmingham, Alabama, UTCA Report 02217.

5- Mehmood A. & Easa, S. (2009) Modeling Reaction Time in Car-Following Behavior Based on Human Factors*, International Journal of Engineering and Applied Sciences*, Vol.5, No.2.

6- Olstam J. & Tapani A. (2001) Comparison of Car following models, Swedish National Road Administration, SE-581 95 *Linköping Sweden*, VTI meddelande 960A.

7- Panis L.I., Broekx S. & Liu R. (2006) Modeling instantaneous traffic emission and the influence of traffic speed limits, *Science of the Total Environment* 371, p 270–285.

8- Pour Ahmad A. (1998), *The role of climate and the geographic structure on the air pollution of Tehran city, Geography Research Quarterly*, No. 34, pp. 38-53.

9- Rinelli P. & Feddo N. (2011), A breath of fresh air by combining emissions modeling with traffic simulation, Annual Showcase*, Journal of Infrastructure*, page 122.

10- Sadat Hoseini S.M. & Vaziri M. (2009) Estimating Crash Risk Using a Microscopic Traffic Model.ScientiaIranica, *Transaction A, Civil Engineering*, Vol. 16, No. 3, pp. 226-237.

11- Summala H. (2000) *Brake Reaction Times and Driver Behavior Analysis*, Commentary. Transportation Human Factors, 2, p 195–216.

12- Winyoopadit S. (2007), Development and Comparative Evaluation of Ramp Metering Algorithms Using Microscopic Traffic Simulation, *Journal of transportation systems engineering and information technology*, Volume 7, Issue 5.

[Downloaded from hafthesar.iauh.ac.ir on 2026-10-09]

[DOR: 20.1001.1.23225602.1392.1.4.6.8]