بررسی سهم ترافیک در آلودگی هوای کلان‌شهر تهران و الزامات تکنولوژیک برای بهسازی آن

■ **جعفر معصوم‌زاده**[1]
دانشجوی دکترای مهندسی صنایع پژوهشکده توسعه تکنولوژی جهاد دانشگاهی
تهران، خیابان آزادی، خیابان شهید قاسمی، پلاک ۷۱، صندوق پستی: ۱۶۶۸-۱۳۴۴۵
■ **مرتضی رحمانی***+
عضو هیات علمی پژوهشکده توسعه تکنولوژی جهاد دانشگاهی
تهران، خیابان آزادی، خیابان شهید قاسمی، پلاک ۷۱، صندوق پستی: ۱۶۶۸-۱۳۴۴۵

تاریخ دریافت: ۱۳۹۴/۸/۲۶ و تاریخ پذیرش: ۱۳۹۵/۱۱/۳۰

چکیده

آلودگی هوا در تهران رفتار سیستمی دارد و ورودی‌ها و خروجی‌های آن مشخص است. با در نظر داشتن تعداد پارامترها و اهمیت پیامدها، تأثیر متقابل عوامل، تنوع راه‌کارها و سختی سنجش و پایش متغیرهای مرتبط، این موضوع از مصادیق یک سیستم پیچیده است. در این مقاله به شناخت علل اصلی بروز آلودگی هوا در شهر تهران و تخمین سهم هر علت (منشا) آلودگی (از جمله ترافیک) در پیدایش آلاینده‌های اصلی پرداخته شده است. این کار با رسم یک نمودار علت و معلول (نمودار استخوان ماهی) و استفاده از نظرسنجی از خبرگان و روش وزن‌دهی با توجه به نوع و شدت پیامدهای آلودگی هوا انجام شده است. با روش پیشنهادی، سهم ترافیک در بروز آلودگی هوا در حدود ۵۶ درصد است که با توجه به این سهم بسزا، در بخش دیگری از مقاله، الزامات تکنولوژیک اعم از زیرساختی، سخت‌افزاری، نرم‌افزاری، اجتماعی و فرهنگی، برای کاهش ترافیک پایتخت و کنترل شاخص‌های ترافیک در محدوده استاندارد مطرح شده است. اهم شاخص‌های ترافیکی ذکر و مقادیر آنها در تهران در سال‌های ۱۳۸۴ و ۱۳۹۰ ارائه شده است. تجزیه و تحلیل مقادیر شاخص‌های مزبور، برآوردی از اثربخشی و کارایی نتایج اقدامات بهبوددهنده ترافیک (در سه بخش توسعه حمل‌ونقل عمومی، توسعه معابر و شبکه ترافیک و مدیریت ترافیک) طی سال‌های یادشده را نشان می‌دهد. آلودگی هوا و ترافیک شدید (به‌ویژه در ساعات اوج صبحگاهی و عصرگاهی) علاوه بر تهران، معضل بسیاری از کلان‌شهرها و مراکز استان‌های دیگر کشور است. بنابراین، نتایج این مقاله می‌تواند مورد الگوبرداری برای آنها قرار گیرد.

واژگان کلیدی: آلودگی هوا، ترافیک تهران، نمودار علت و معلول، شاخص‌های ترافیکی.

---

۱ شماره نمابر: ۶۶۰۷۵۰۱۳-۰۲۱ و آدرس پست الکترونیکی: Masoumzadeh@tehran.ir
* عهده دار مکاتبات
+ شماره نمابر: ۶۶۰۷۵۰۱۳-۰۲۱ و آدرس پست الکترونیکی: Rahmani@jdsharif.ac.ir

۱- مقدمه

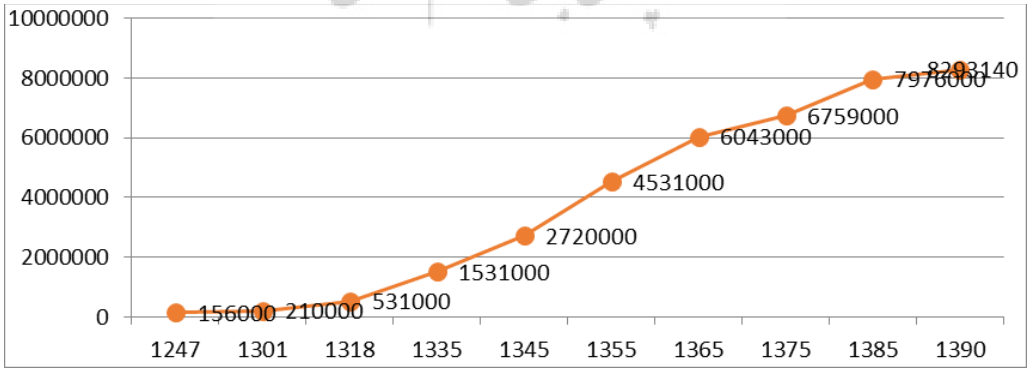
مساله مورد مطالعه مقاله حاضر، بررسی سهم ترافیک در ایجاد آلاینده‌های اصلی هوا و پیامدهای منفی آن در شهر تهران است. این مطالعه، با هدف دستیابی به روشی برای برآورد سهم عوامل موثر بر آلودگی هوا در تهران (از جمله ترافیک) مبتنی بر درجه وخامت پیامدهای آنها و همچنین مروری بر اقدامات فنی انجام‌شده برای بهسازی ترافیک این شهر صورت گرفته است.

ترافیک در لغت، طبق تعریف دیکشنری کمبریج، به حجم وسایل نقلیه اعم از خودرو، هواپیما و کشتی یا ازدحام مسافرین اطلاق می‌شود. ترافیک یک واژه شناخته‌شده بین‌المللی است و در قوانین به مجموعه عبور و مرور وسائط نقلیه و اشخاص و حیوانات در راه‌ها اطلاق می‌گردد. ترافیک از سه عامل تشکیل می‌شود که عبارتند از: انسان، راه، وسیله نقلیه. چنانچه هر یک از عوامل سه‌گانه نباشد، اصولاً مسئله‌ای به نام ترافیک وجود نخواهد داشت. در واقع، ترافیک پدیده‌ای است ناشی از تردد و جابه‌جایی انسان، کالا و وسایل نقلیه از نقطه‌ای به نقطه دیگر. در اصطلاح عامیانه معمولاً واژه ترافیک را به‌جای ترافیک شدید به کار می‌برند. ترافیک(تردد) به خودی خود بد نیست و لازم است. شدید بودن ترافیک، آن را به پدیده‌ای ناپسند تبدیل می‌کند.

استفاده از وسایل مختلف حمل‌ونقل در قرن بیست‌ویکم، یکی از شاخص‌های شهر سالم به شمار می‌رود. نزدیک بودن خطوط ارتباطی مختلف به یکدیگر، علاوه بر اینکه رفت‌وآمد را برای افراد جامعه تسهیل می‌کند، از بروز ترافیک جلوگیری کرده، هزینه‌های رفت‌وآمد را نیز کاهش می‌دهد. حمل‌ونقل شامل طیفی از عوامل اجتماعی، محیطی و اقتصادی است که اثرات بسیار زیادی بر زندگی و سلامت شهروندان می‌گذارد[۵]. تحقیقات انجام‌شده در اسکاتلند و انگلیس نشان می‌دهد که از هر پنج نفر جویای کار، دو نفر کمبود حمل‌ونقل را یکی از موانع یافتن شغل بیان کرده‌اند. همچنین، در طول یک دوره دوازده‌ماهه، ۱,۴ میلیون نفر به علت مشکلات مرتبط با حمل‌ونقل، نخواسته یا نتوانسته‌اند به خدمات پزشکی دسترسی پیدا کنند یا از (ادامه) آن منصرف شده‌اند[۱۸]. ارتباط بین سروصدا و اختلال خواب، بیماری‌های ایسکمی قلبی و اثرات منفی آن بر عملکرد کودکان مدرسه‌ای شناخته شده است. کمبود در دسترسی به خودروی سواری، موجب انزوای اجتماعی برای کسانی که مشکلاتی در استفاده از وسایل حمل‌ونقل عمومی یا پیاده‌روی و دوچرخه‌سواری دارند، مانند سالمندان، معلولین و نگهدارندگان جوان آنان خواهد شد[۱۹].

در ایران، شهرداری‌ها متولی اصلی مدیریت بر حمل‌ونقل و ترافیک شهر هستند. برخی کلانشهرها و بزرگ‌شهرهای کشور، از جمله تهران، با مشکلاتی در حمل‌ونقل شهری روبه‌رو هستند. از یک طرف، نبود زیرساخت‌های متناسب با جمعیت، ضعف در بخش‌هایی از سیستم حمل‌ونقل عمومی و ضعف فرهنگ‌سازی مناسب در زمینه ترافیک، عوامل بازدارنده هستند و از طرف دیگر، تسهیلات خرید خودروی شخصی به عنوان عامل جذاب، موجب گسترش روزافزون استفاده از خودروی شخصی در این شهر شده است. همچنین، نبود مدیریت واحد شهری بر مشکلات موجود دامن زده و مسائل آن را هر روز بغرنج‌تر می‌کند. در سال‌های اخیر، تهران شاهد ساخت‌وسازهای بی‌رویه بوده است. البته این موضوع ناشی از افزایش تقاضای مسکن به دلیل زادوولد و افزایش مهاجرت به پایتخت و از روی ناچاری بوده ولی به هر حال در افزایش ترافیک بسیار موثر بوده است؛ زیرا به تعداد واحدهای مسکونی ساخته‌شده، فضای پارکینگ تامین نشده و لذا پارک خودرو در حاشیه معابر افزایش یافته است. اشغال فضاهای پارک حاشیه‌ای، از فضای مفید تردد معابر می‌کاهد.

شهر تهران با جمعیت ساکن در حدود ۹ میلیون نفر، بزرگ‌ترین کلان‌شهر در کشور و خاورمیانه است. با احتساب سفرهای دروازه‌ای(از حومه به شهر و بالعکس) در طول روز، جمعیت شناور پایتخت کشور ایران به بیش از ۱۳ میلیون نفر در روز می‌رسد. جمعیت تهران طی سال‌های ۱۲۴۷ تا ۱۳۹۰ به شرح نمودار شماره ۱ بوده است[۱۱].



نمودار شماره ۱- جمعیت تهران (نفر) طی سال‌های ۱۲۴۷ تا ۱۳۹۰

جدول شماره یک تعداد خودروی تجمعی شهر تهران از سال ۱۳۷۰ تا ۱۳۸۷ را نشان می‌دهد.

جدول ۱: تعداد خودروهای تهران[۱]

سال	۱۳۷۰	۱۳۷۱	۱۳۷۲	۱۳۷۳
تعداد خودرو	۶۲۶۷۰۹	۶۵۶۱۷۳	۶۹۲۳۶۹	۷۲۱۲۰۶
سال	۱۳۷۴	۱۳۷۵	۱۳۷۶	۱۳۷۷
تعداد خودرو	۷۵۶۰۴۱	۸۰۶۵۷۲	۸۵۹۳۷۲	۸۷۸۴۲۲
سال	۱۳۷۸	۱۳۷۹	۱۳۸۰	۱۳۸۱
تعداد خودرو	۹۲۹۲۴۲	۹۸۶۵۱۰	۱۰۶۴۴۶۴	۱۲۴۹۰۳۹
سال	۱۳۸۲	۱۳۸۳	۱۳۸۴	۱۳۸۵
تعداد خودرو	۱۳۸۰۴۵۲	۱۵۹۵۱۵۲	۱۷۹۷۰۵۷	۱۹۹۱۰۲۴
سال	۱۳۸۶	۱۳۸۷		
تعداد خودرو	۲۱۸۷۹۸۶	۲۳۹۴۴۴۶		

بر اساس اعلام شرکت مطالعات جامع حمل‌ونقل و ترافیک تهران، در سال ۱۳۸۷ از کل وسایل نقلیه که به صورت روزانه و فعال در چرخه حمل‌ونقل تهران حضور داشته‌اند، ۲۱۳۵۸۸۰ دستگاه خودروی سواری و وانت بوده است. طبق اظهار رییس پلیس ترافیک شهری راهور ناجا (در تیرماه ۱۳۹۴) سه میلیون و سیصد هزار دستگاه انواع خودرو در تهران تردد می‌کنند و به این رقم باید تردد سه میلیون و پانصد هزار موتورسیکلت را نیز اضافه کرد. در حالی که معابر تهران گنجایش فقط یک میلیون و پانصد هزار خودرو را دارد. در تهران، طی چند سال اخیر، ترافیک به اندازه‌ای شدید شده است که مدیریت شهری علاوه بر پیگیری تکالیف قانونی در انتقال کارخانجات،کارگاه‌های صنعتی، پادگان‌ها، نمایشگاه‌ها، باغ وحش و ... از داخل شهر به خارج آن، راه‌کارهایی مانند کاهش تعداد دارندگان مجوز ورود به محدوده طرح ترافیک، توسعه محدوده زوج یا فرد یا مرتبط‌سازی آن با میزان فرسودگی و آلایندگی خودروها را بررسی و دنبال می‌کند. در سطح کلان ملی هم برای تثبیت و حتی کم کردن جمعیت تهران راه‌کارهایی مانند تغییر پایتخت کشور، تمرکززدایی دستگاه‌های دولتی و سیاست‌های تشویقی برای مهاجرت از تهران به شهرستان‌ها مطرح شده است.

۲- پیامدهای منفی ترافیک شدید

مسئولیت اجتماعی شرکت‌ها و سازمان‌ها موضوع حساسیت‌برانگیز و مورد توجه در سال‌های اخیر بوده است؛ تا آنجا که سازمان‌های بین‌المللی مانند سازمان ملل متحد و اتحادیه اروپا، استانداردهایی را در این زمینه ارائه کرده‌اند. بنیاد مدیریت کیفیت اروپا که بنیادی وابسته به اتحادیه اروپا است، در مدل الگوی تعالی خود برای سازمان‌ها، مسئولیت اجتماعی را به عنوان یکی از ارزش‌های هشت‌گانه خود معرفی کرده است. همچنین، بنیاد یادشده یکی از معیارهای نه‌گانه خود برای ارزیابی شرکت‌ها را به این امر اختصاص داده و هشت درصد از امتیاز کل ارزیابی یک سازمان را برای این معیار قائل شده است[۶]. سازمان بین‌المللی استانداردسازی (ISO) نیز برای موضوع مسئولیت اجتماعی استاندارد ایزو۲۶۰۰۰ را ارائه کرده است. در این استاندارد، پیشگیری از آلودگی، به عنوان یکی از مولفه‌ها و معیارهای سنجش مسئولیت اجتماعی مطرح شده است. یکی از مولفه‌های اصلی آلودگی محیط زیست، آلودگی هوا است.

«مطابق گزارش بانک جهانی، در سال ۱۳۸۲ تعداد ۸۱۵۲ نفر شهروند تهرانی به‌علت آلودگی هوا جان خود را از دست داده‌اند. زیان سالیانه برآوردی ناشی از مرگ‌ومیر به‌سبب آلودگی هوای شهری در ایران ۶۴۰ میلیون دلار است.»[۱۶]. آلودگی هوای شهر، هزینه پاکیزه نگه‌داشتن لباس، منزل و ... را بالا می‌برد. آلودگی هوا علاوه بر افزایش هزینه‌های فردی، هزینه‌هایی مثل حفظ نمای بناها و نقاشی داخل ساختمان را نیز به دنبال دارد (فرجی ملایی و همکاران، ۱۳۹۰). از آنجا که وقت هر فرد باید صرف کار و تولید شود، دارای ارزش مالی است و تاخیر یا اتلاف وقت ناشی از تراکم ترافیک، همیشه بازدهی تولید جامعه را کاهش می‌دهد و نوعی هزینه اقتصادی محسوب می‌گردد[۱۷]. به طور خلاصه، پیامدهای منفی یا عوارض ترافیک شدید در یک شهر به‌صورت زیر است:

۱- افزایش آلودگی‌ها(هوا و صوتی) و در نتیجه افزایش هزینه‌های بهداشت، درمان و رفع آلودگی

۲- افزایش اتلاف وقت مسافرین و هزینه‌های مادی و روحی ناشی از آن

۳- افزایش هزینه‌های تعمیر و نگهداری معابر شهری

۴- افزایش هزینه‌های ناشی از افزایش مصرف سوخت

۵- افزایش هزینه‌های استهلاک و لوازم یدکی خودروها و هزینه‌های خسارت (و تلفات و جراحات) ناشی از تصادفات

۳- تعریف آلودگی هوا و نحوه سنجش آن

انجمن مشترک مهندسی آلودگی هوا، آلودگی هوا را چنین تعریف کرده است: "وجود یک یا چند آلوده‌کننده مانند گرد و غبار، گازها، بو، دود، بخار در هوای آزاد با کمیت‌ها، ویژگی‌ها، و زمان ماندگاری که برای انسان، گیاه یا زندگی حیوانات خطرناک و برای اموال مضر باشند و یا به طور غیر قابل قبولی مخل

استفاده راحت از زندگی و اموال شود"[۷]. در ماده دوم قانون نحوه جلوگیری از آلودگی هوا، تعریف آلودگی هوا چنین آمده است: "وجود و پخش یک یا چند آلوده‌کننده اعم از جامد، مایع، گاز، تشعشع پرتوزا و غیرپرتوزا در هوای آزاد به مقدار و مدتی که کیفیت آن را به طوری که برای انسان، سایر موجودات زنده، گیاهان، آثار و ابنیه زیان‌آور باشد، تغییر دهد."[۸]. به عبارت دیگر، مواد آلوده‌کننده موادی هستند که می‌توانند ترکیب طبیعی هوا را بر هم بزنند."[۹].

آلاینده‌هایی مانند ترکیبات آلی فرّار، بخار جیوه و ارسنیک، بنزن و آزبست، بعضاً اندازه‌گیری و کنترل می‌شوند. پنج آلاینده اصلی هوا در کلان‌شهرها عبارتند از: ۱- مونواکسید کربن ۲- دی‌اکسید نیتروژن ۳- دی‌اکسید گوگرد ۴- ازن ۵- ذرات معلق (کمتر از ۱۰ میکرون – کمتر از ۲,۵ میکرون. با توجه به میزان پنج آلاینده یادشده، وضعیت آلودگی هوای هر شهر با شاخص آلودگی هوا یا Air Quality Index سنجیده می‌شود. AQI شاخصی جهت گزارش روزانه کیفیت هوا است که مردم را از کیفیت کلی هوای محلی (پاک یا آلوده بودن آن) آگاه و اثرات سلامتی مرتبط با آن را ارائه می‌کند[راهنمای محاسبه، تعیین و اعلام شاخص کیفیت هوا، ۱۳۹۰]. برای تسهیل در درک، این شاخص به ۶ دسته به شرح جدول شماره ۲ تقسیم شده است.

جدول ۲: شش دسته شاخص کلی آلودگی هوا[۲۰]

گستره شاخص کیفیت هوا	توصیف کیفیت هوا (سطح اهمیت بهداشتی)	رنگ
۰ - ۵۰	خوب	سبز
۵۱ - ۱۰۰	متوسط	زرد
۱۰۱ - ۱۵۰	ناسالم برای گروه‌های حساس	نارنجی
۱۵۱ - ۲۰۰	ناسالم	قرمز
۲۰۱ – ۳۰۰	خیلی ناسالم	بنفش
بالاتر از ۳۰۰	خطرناک	خرمایی

۴- پیامدهای آلودگی هوا از حیث سلامتی

هر آلاینده هوا می‌تواند آثاری مانند تحریک‌کنندگی تنفسی، بیهوش‌کنندگی، خفه‌کنندگی، کاهش بهره هوشی، ضعف حافظه، ضعف در دید، انواع سرطان‌ها یا ترکیبی از این موارد را در مردم، به‌ویژه گروه‌های حساس (سالمندان، نوزادان و بیماران قلبی و عروقی)، در پی داشته باشد. در کتاب "راهنمای محاسبه ، تعیین و اعلام شاخص کیفیت هوا" که الزامات و دستورالعمل‌های تخصصی مرکز سلامت محیط و کار و رهنمودهای مرکز سلامت وزارت بهداشت، درمان و آموزش پزشکی را در بر دارد، در بخش پیامدهای بهداشتی منتسب به آلاینده‌های هوا، عوارض هر آلاینده بر انسان به تفکیک آمده است. با جمع‌بندی این مطالب و مطالب مربوط به منابع آلودگی (ایجاد آلاینده) از مرجع مزبور و مراجع دیگر می‌توان جدول شماره ۳ را ساخت.

۵- تحلیل علل بروز آلودگی شدید هوا در تهران

میزان آلاینده‌های هوای تهران با توجه به آزمایش‌ها و کنترل کیفیت هوا در بیش از ۲۰ ایستگاه سنجش ثابت و تعدادی ایستگاه سیار در شهر به صورت برخط و با دقت زیاد مشخص می‌شود. بیشتر آلودگی هوای کلان‌شهرهایی مانند تهران از سوخت منابع متحرک شامل خودروهای سبک و سنگین و موتورسیکلت‌ها ناشی می‌شود. طی ۲۳ سال اخیر، مراجع مختلف در سال‌های مختلف، سهم منابع متحرک در آلودگی هوا را بین ۵۸ تا ۹۰ درصد اعلام کرده‌اند که برای نمونه، به موارد زیر اشاره می‌شود.

در سال ۱۳۷۲ شرکت مهندسین مشاور آتک به درخواست معاونت شهرسازی و معماری وزارت مسکن و شهرسازی، تحقیقی را با عنوان"مطالعات زیست محیطی: آلودگی‌های هوا، منابع آلاینده و منابع تشدیدکننده" انجام داد. در این تحقیق، میزان آلاینده‌های هوای انتشار یافته در سال ۱۳۶۵ محاسبه شد. نتایج تحقیق سهم خودروهای موتوری در آلودگی هوا را ۵۸ درصد و سهم واحدهای مسکونی، تجاری و صنعتی را در مجموع ۴۲درصد نشان داد. در سال ۱۳۷۳ تحقیقات اولیه سازمان همکاری‌های بین‌المللی ژاپن(جایکا) سهم منابع متحرک از کل آلودگی هوای تهران را ۷۷ درصد نشان داد (بیات، ۱۳۸۳). روش‌های تعیین میزان سهم منابع شامل استفاده از ضرایب انتشار (میزان تولید آلودگی در واحد مصرف سوخت، در مورد منابع ثابت و میزان آلاینده تولیدشده در واحد مسافت پیموده‌شده در سرعت‌های مختلف حرکت و شرایط مسیر از لحاظ شیب، در مورد منابع متحرک) و محاسبه میزان انتشار در منشاء تولید آلودگی است. رویکرد دیگر، تمرکز بر وضعیت موجود از طریق اندازه‌گیری غلظت در ایستگاه‌های پایش آلودگی یا مدل‌سازی معکوس به‌منظور ردیابی منبع انتشار است.

جدول ۳: منابع تولید و پیامدهای بهداشتی و سلامتی آلاینده‌های هوا[۲۰]

ردیف	آلاینده هوا	پیامد	منبع تولید
۱	منواکسید کربن	کاهش بینایی- کاهش قابلیت یادگیری- تجزیه فیبرین-عوارض قلبی- عوارض عصبی- عوارض دوران حاملگی- آثار ژنتیکی	وسایل نقلیه (فرآیند سوخت): هواپیما و هلیکوپتر، خودروی سواری، خودروهای دیزلی و موتورسیکلت- کارخانجات دارای فرآیند سوخت- پسماند کشاورزی- موتور برق و منابع دارای میزان سوخت جزئی- سیگار- آتش‌سوزی
۲	دی‌اکسید نیتروژن	تحریک چشم- بیماری‌های ریه- خستگی- صدمه به گیاهان	وسایل نقلیه (فرآیند سوخت): هواپیما و هلیکوپتر، خودروی سواری، خودروهای دیزلی و موتورسیکلت- نیروگاه حرارتی- پسماند تولید اسید نیتریک
۳	دی‌اکسید گوگرد	تحریک مجاری تنفسی- برونشیت- آسم- آمفیزم- بیماری قلبی- ضعف حافظه- اثر منفی برگیاهان	خودروهای گازوییلی- نیروگاه‌ها و کارخانجات مصرف‌کننده ترکیبات گوگرد، نفت کوره، مازوت، ذغال‌سنگ- آتشفشان- ذرات معلق (عامل تشدیدکننده)
۴	ذرات معلق کوچکتر از ۲/۵ میکرون	آسیب به بخش تحتانی سیستم تنفسی- التهاب ریه- زخم بافت‌های ریه- بیماری قلبی- آسم- سرطان ریه- کاهش دید (ضعف بینایی)- کاهش مقاومت سیستم ایمنی- آسیب به حیوانات و گیاهان- (عوارض متناسب با ابعاد ذرات است)	وسایل نقلیه (فرآیند سوخت)- گرد و غبار ناشی از فعالیت‌های ساختمانی (ساخت و تخریب)- پودر معدنی
۵	ذرات معلق کوچکتر از ۱۰ میکرون	مانند ردیف بالا	ریزگردهای خارجی- گرد و غبار ناشی از فعالیت‌های ساختمانی (ساخت و تخریب)- پودر معدنی
۶	اُزُن	از بین‌رفتن بافت ریه- سوزش چشم- سرفه- درد در قفسه سینه- اثر بر شرایط جوی و کاهش بازدهی کشاورزی	عوامل ایجاد ترکیب شیمیایی آلاینده‌های اولیه- تشعشع نور خورشید (عامل تشدیدکننده)

بیات(۱۳۸۳) طی یک مطالعه، روشی برای سهم‌بندی منابع تولید آلودگی هوای شهر تهران با تمرکز بر منبع انتشار آلودگی و بر اساس داده‌های سال ۱۳۸۱ ارائه کرد. نتایج مطالعه او نشان داد: ۹۰ درصد وزن کل آلاینده‌های هوای شهر تهران از وسایل نقلیه منتشر می‌شود و ۱۰ درصد بقیه مربوط به منابع ثابت است. سه‌چهارم وزن آلاینده‌های هوا را مونواکسیدکربن تشکیل می‌دهد و آلاینده‌های بعدی هیدروکربن‌ها با ۱۱,۴ درصد، اکسیدهای نیتروژن با ۸,۴ درصد، اکسیدهای گوگرد با ۲,۸ درصد و ذرات معلق با ۲,۴ درصد هستند. وی پیشنهاد کرد که چون روش سهم‌بندی او بر مبنای نسبت وزنی آلاینده‌ها است؛ در حالی که ممکن است آلاینده‌ای با وزن کمتر، اثرات زیانبارتری را ایجاد کند، روشی برای تعیین سهم منابع در ایجاد آلودگی طراحی شود که در آن آلاینده زیانبارتر سهم بیشتری داشته باشد. چنین روشی در برنامه‌های کنترل آلودگی هوا کاربرد بیشتری خواهد داشت.

آل‌شیخ و همکاران (۱۳۹۱) تحقیقی به منظور پاسخگویی به دو سوال: ۱- آیا بین ترافیک و آلودگی هوای شهر تهران رابطه وجود دارد؟ ۲- مقدار تقریبی آلودگی هوای اضافه‌شده روزانه منتج از ترافیک شهر تهران چه میزان است؟ انجام دادند. آنان با روشی تحلیلی-کاربردی و با بهره‌گیری از مدل رگرسیون کاربری اراضی[2] در تلفیق با سیستم اطلاعات جغرافیایی[3] و ضرایب نشر و استفاده از غلظت‌های ساعتی منواکسید کربن در ۱۲ ایستگاه سنجش آلودگی هوا و همچنین حجم همسنگ سواری، تعداد خودروهای سواری و موتورسیکلت در دو حالت تعداد کل و تعداد وسایل نقلیه فعال در حمل‌ونقل روزانه، نشان دادند که رابطه بین ترافیک و آلودگی هوای شهر تهران معنادار است و روزانه در حدود ۱۸۴۰ تن منواکسید کربن به هوای این شهر افزوده می‌شود که سهم سواری و وانت ۸۱,۷، موتورسیکلت ۱۳,۶، تاکسی و ون ۳,۱ و سایر وسایل نقلیه ۱,۶ درصد است.

تحقیقات مرکز سلامت محیط و کار وزارت بهداشت نشان می‌دهد ۳۰ درصد ذرات معلق کمتر یا مساوی ۲/۵ و ۱۰ میکرون، ناشی از آلودگی مواد معدنی هستند و ۷۰ درصد آن از ترکیب‌های آلی به وجود آمده‌اند. ترکیب‌های آلی عمدتاً مربوط

2 Land use Regression

3 Geographical Information system

به تولید آلاینده‌هایی است که از خودروها و احتراق سوخت‌های فسیلی یا کاربرد آنها ایجاد می‌شود. در مورد مواد معدنی، تخریب ساختمان‌ها، حمل نخاله‌های ساختمانی، فعالیت کارگاه‌های ساختمان‌سازی در شهر یا حاشیه شهر که برای پروژه‌های عمرانی مانند ساخت پل و مترو فعالیت می‌کنند و همچنین کارگاه‌های تولید مصالح ساختمانی در حاشیه شهرها، منشا اصلی هستند. علاوه بر این، توفان و گردوخاک طبیعی آلودگی ناشی از مواد معدنی را تشدید می‌کند[۱۵].

بروز وارونگی دما در تهران به سرد شدن هوا در حدود آذرماه هر سال و همچنین وضعیت جغرافیایی و توپوگرافیکی این شهر برمی‌گردد. شهر تهران در ارتفاع حدود ۱۰۰۰ تا ۱۲۰۰ متری از سطح دریا قرار دارد که موجب احتراق ناقص و پایین آمدن راندمان کار موتورها می‌شود. نقص احتراق در موتور خودروها، سوخت نامرغوب، سایش لنت ترمز و صفحه کلاچ و لاستیک خودروها در ایجاد ذرات معلق موثر است. دود کارخانجات داخل شهر تهران یا حومه(به‌ویژه حومه غربی)، دود منابع گرمایشی منازل، گرد و خاک ناشی از ساخت‌وسازها، گرد و غبار محلی و غیرمحلی(مانند ریزگردهای ناشی از بیابان‌زایی در کشورمان یا ریزگردهای کشورهای عربی)، دود موتورهای برق اضطراری، سوخت حمام‌های عمومی و نمره، دود ناشی از طبخ مواد غذایی، مصرف دخانیات(سیگار، قلیان و ...) نیز در بروز آلودگی هوا موثرند. ساختمان‌های بلندمرتبه در شهر تهران که بخش اعظم آنها طی چند سال اخیر ساخته شده‌اند، مانع جریان هوا و حرکت مؤثر باد از کریدورهای ورودی شهر (عمدتاً از سمت غرب، شمال‌غرب و جنوب غرب) هستند؛ اما چون گردش باد عمودی از افقی موثرتر است، این عامل تأثیر و اهمیت زیادی ندارد. رسم یک نمودار علت و معلول (نمودار استخوان ماهی)، برای مسئله بروز آلودگی هوا در تهران طبق نمودار شماره ۲، علل اولیه را مشخص می‌کند.

برای تعیین سهم هر یک از علل اولیه در بروز معلول به صورت تخمینی و نادقیق، ابتدا از نظریات یک گروه پنج‌نفره از خبرگان(شامل یک کارشناس ترافیک، یک کارشناس مدیریت، یک کارشناس مهندسی صنایع، یک کارشناس ارگونومی(مهندسی فاکتورهای انسانی) و یک پزشک) با روش کنفرانس(بحث و همفکری و سپس توافق گروهی یا اجماع) استفاده شد. عوامل طبیعی و جغرافیایی، به خودیِ خود علت بروز آلودگی هوا تشخیص داده نشدند بلکه تشدیدکننده آن محسوب می‌شوند. نظریات مورد اجماع خبرگان، نشان داد که دو عامل "ترافیک" و "ساخت‌وسازها" به ترتیب بیشترین تاثیر را در بروز آلودگی هوای شهر تهران دارند و بنابراین به‌عنوان مهم‌ترین علل اولیه ایجاد آلاینده‌های هوا معرفی می‌شوند.

نمودار ۲: نمودار علت و معلول برای مسئله آلودگی هوای تهران

۶- تدقیق سهم هر یک از علل اولیه بروز آلودگی هوا با توجه به نوع و شدت پیامدها

در جدول شماره ۳ انواع پیامدهای آلودگی هوا بر بهداشت و سلامت انسان به تفکیک آلاینده‌های اصلی و منابع تولید آنها برشمرده شد. با اخذ نظریات گروه خبرگان، برای هر پیامد، با توجه به نوع تأثیر آن بر انسان و اهمیت تأثیر نهایی، یک "درجه وخامت" تعریف و از طیف لیکرت پنج‌دامنه برای نمایش آن استفاده شد. نتیجه در جدول شماره ۴ آمده است.

جدول شماره ۴- درجه وخامت هر یک از پیامدهای آلودگی هوا

ردیف	درجه	پیامدهای آلودگی هوا
۱	۵	انواع سرطان (ریه، خون، و ...)- بیهوش‌کنندگی و خفه‌کنندگی
۲	۴	بیماری‌های قلبی و ریوی- از بین رفتن بافت ریه- زخم بافت‌های ریه
۳	۳	التهاب ریه- آسیب به بخش تحتانی سیستم تنفسی- اثرات ژنتیکی و عوارض دوران بارداری
۴	۲	آسم- برونشیت- کاهش مقاومت سیستم ایمنی- عوارض عصبی
۵	۱	کاهش بینایی- سوزش و تحریک چشم- کاهش بهره هوشی و قابلیت یادگیری- ضعف حافظه- خستگی- سرفه- تحریک مجاری تنفسی- درد قفسه سینه

با توجه به جداول شماره ۳ و ۴، گروه خبرگان ابتدا درجه وخامت نسبی هر یک از آلاینده‌های اصلی را برآورد کردند که نتیجه، با استفاده از طیف لیکرت پنج‌دامنه به شرح جدول شماره ۵ حاصل شد.

جدول ۵: درجه وخامت نسبی هر یک از آلاینده‌های اصلی

ردیف	آلاینده اصلی	درجه وخامت
۱	CO	۳
۲	NO_2	۲
۳	SO_2	۱
۴	O_3	۲
۵	PM_{10}	۴
۶	$PM_{2.5}$	۵

سپس میزان تأثیر هر یک از منابع اصلی تولید آلاینده‌ها در ایجاد هر یک از آلاینده‌های اصلی برآورد و نتیجه با استفاده از طیف لیکرت پنج‌دامنه به شرح جدول شماره ۶ حاصل شد.

جدول شماره ۶- میزان تأثیر هر منبع تولید آلاینده‌ها در ایجاد آلاینده‌های اصلی

منابع تولید آلاینده‌ها	CO	NO_2	SO_2	O_3	PM_{10}	$PM_{2.5}$
خودروهای سواری وموتورسیکلت (بنزینی)	۵	۵	۰	۱	۳	۳
خودروهای سنگین و نیمه‌سنگین (دیزلی)	۲	۲	۵	۰	۱	۲
ساخت‌وسازها در شهر	۰	۰	۰	۰	۵	۳
سایر (کارخانجات، گرمایش منازل، دخانیات و ...)	۲	۱	۲	۲	۲	۲

در دانش آمار، میانگین وزنی یا میانگین موزون[4] نوعی سنجش گرایش به مرکز است و میانگین حسابی یک مجموعه داده‌های نابرابر و ناموزون می‌باشد. در محاسبه میانگین وزنی یک مجموعه عامل‌های نابرابر، برای هر یک از عامل‌ها، وزن یا ارزش معینی در نظر گرفته و سپس آن عامل در وزن معین ضرب می‌شود. آن‌گاه جمع این ارقام به دست آمده بر مجموع وزن‌ها تقسیم می‌شود.

از حاصل ضرب دو ماتریس حاصل در جداول شماره ۵ و ۶ و سپس تبدیل اعداد حاصل به درصد، وزن نسبی هر یک از منابع اصلی تولید آلاینده‌ها که بیانگر درصد میزان تأثیر هر منبع در بروز پیامدهای ناشی از آلودگی است، به دست می‌آید. با تقسیم اعداد ۵۴، ۲۹، ۳۵ و ۳۲ بر مجموعشان یعنی ۱۵۰، وزن نسبی منابع اول، دوم، سوم و چهارم تولید آلاینده‌ها(به شرح مذکور در جدول شماره ۵) به ترتیب ۳۶/۰، ۱۹/۴، ۲۳/۳ و ۲۱/۳ درصد به دست آمد. همان طور که مشاهده می‌شود، با این روش نیز سهم اصلی علل تولید آلاینده‌های هوا(با توجه به پیامدها و وخامت آنها) برابر ۵۵/۴ درصد و مربوط به عوامل مرتبط با ترافیک است.

برنامه جامع کاهش آلودگی هوا در سال ۱۳۷۸ تصویب شد و با همکاری وزارت صنایع، وزارت نفت، سازمان حفاظت محیط زیست، شهرداری تهران و پلیس راهنمایی و رانندگی به اجرا در آمد تا هوای پایتخت به کیفیت سالم برسد. این برنامه شامل ۷

4 Weighted Mean

محـور استانداردسـازی خودروهـای نـو، از رده خـارج کـردن خودروهای فرسوده، ارتقای حمل‌ونقـل عمـومی، بهبـود کیفیـت سوخت، معاینه فنی خودروها، مدیریت ترافیک و آموزش همگانی است.

اقداماتی مانند افزایش اکتان بنزین و کاهش گوگرد بنـزین و گازوییل اجرا شده اما راه‌کارهای دیگری مانند جلوگیری از تـردد خودروهای تک‌سرنشین و وسایط نقلیه دودزا، از رده خارج کردن خودروهای فرسوده و جایگزین کردن با خودروهای دارای موتـور استاندارد Euro4 به طور کامـل انجـام نشـده اسـت. راه‌کارهـایی مانند توسعه وسایط حمل‌ونقل عمـومی (نظیـر متـرو و اتوبـوس تندرو) و فرهنگ استفاده از آن، تشـویق بـه نصـب کاتالیسـت و مبدل‌های کاتالیزوری جهت کاهش آلاینـده‌هـای اگـزوز، توسـعه خودروهـای برقـی و خودروهـای دارای سـوخت گـاز (CNG یـا LPG)، توسعه کاشت درختان و فضای سبز مناسب(دارای ضریب بالای تولید اکسیژن و جذب آلاینده‌ها) در کـاهش آلـودگی هـوا موثرند. البته برخـی از ایـن راه‌کارهـا، راه حـل مسـئله(با هـدف کاهش تولید آلاینده یا کاهش تردد) نیستند اما منجر به کـاهش پیامدهای مشکل مورد مطالعه می‌شوند.

۷- شاخص‌های ترافیکی و وضعیت تهران

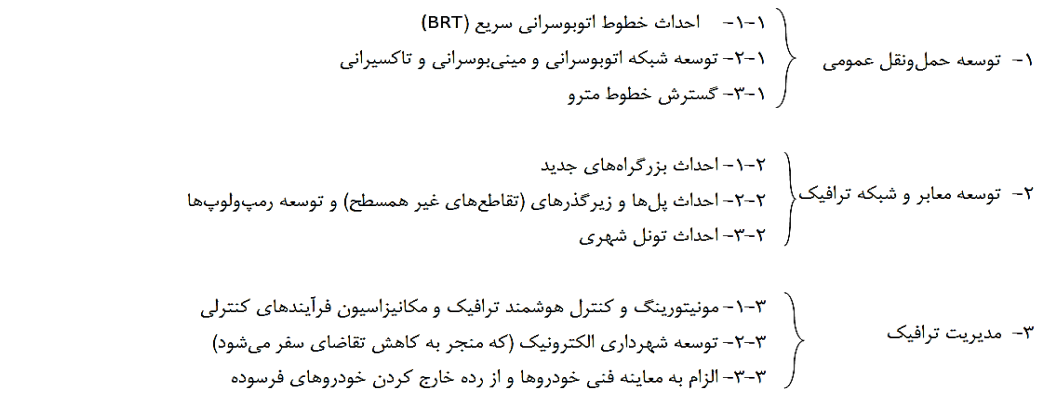
شاخص‌های مختلفی برای سنجش وضعیت کلی ترافیک یـک شهر وجود دارد. برای مثـال، در کلانشـهرها و شـهرهای بـزرگ، سهم اسـتفاده از وسـایل نقلیـه عمـومی نظیـر متـرو، اتوبـوس و مینی‌بوس از کل ترددها در طول یک بـازه زمـانی (معمـولاً یـک شبانه‌روز)، از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. هـر چـه ایـن سـهم بزرگتر باشد، ترافیک شهر و پیامـدهای منفـی آن کمتـر خواهـد شد. شاخص مهم دیگر، میانگین سرعت سفر روزانه درون‌شـهری است. در تعیین اهداف کیفی شاخص‌های یادشـده در بـالا بـرای یک شهر، باید بـه اسـتانداردهای جهـانی توجـه و از الگـوبرداری خارجی(منطقه‌ای یا جهانی) هم استفاده کرد. البته وضعیت فعلی و همچنین شرایط جغرافیایی و اقلیمی، اجتماعی و حتی سیاسی و امنیتی خاص هر شهر نیز در آن موثر است.

در سال ۲۰۱۱ متوسط سرعت همسـنگ سـواری در سـاعت اوج ترافیک صبحگاهی در کلان‌شهر سئول، در مرکز شهر حـدود ۱۷ و در حومـه حـدود ۲۹ کیلـومتر بـر سـاعت بـود. «در شـهر سنگاپور، سرعت جابه‌جایی مردم ۳۳ کیلومتر بـر سـاعت امـا در شهر بانکوک تنها ۱۳ کیلومتر بر ساعت اسـت. میـانگین سـرعت اتوبوس‌ها در بانکوک ۹ کیلومتر بر ساعت است.»[۱۲].

در سال ۱۳۸۴ یک طرح جامع بـرای بهبـود ترافیـک شـهر تهران تعریف، برنامه‌ریزی و آغاز شد. در آن سال جمعیـت ثابـت (ساکن شبانه) شهر تهران حدود ۷/۸ میلیون نفر بود و پیش‌بینی می‌شد در سال ۱۳۹۰ به حدود ۸/۵ میلیون نفر برسد. همچنـین در سال ۱۳۸۴ تعداد خودروهای شهر تهران حـدود ۱/۳ میلیـون دستگاه بود که پیش‌بینی می‌شد در سال ۱۳۹۰ به ۲/۵ میلیـون دستگاه برسد. با توجه بـه افـزایش روزافـزون جمعیـت و تعـداد خودروهـای موجـود در شـهر تهـران، کنتـرل شـاخص "تعـداد سفرهای روزانه درون‌شهری" از طریق توسعه شهر الکترونیـک و فرهنگ‌سازی برای کاهش تقاضای سفر سیاست‌گذاری شد. مقدار این شاخص در سـال ۱۳۸۸ برابـر ۱۵/۶ و در سـال ۱۳۹۲ برابـر ۱۷/۷ میلیون سفر بود. همچنین، بنا شد با وجود افزایش طبیعی تقاضای سفر، شاخص میـانگین کـل سـرعت سـفر روزانـه درون شهری حداقل ۲۵ کیلومتر در ساعت نگه داشته شود. مقدار ایـن شاخص در سال ۱۳۹۲ برابر ۲۷/۲ کیلومتر در ساعت بـود. طبـق برنامه پنجم توسعه کشور و برنامه جـامع کـاهش آلـودگی هـوا، سهم حمل‌ونقل عمومی در کلان‌شهرها با سالی ۵٪ افزایش، باید تا پایان سال ۱۳۹۴ به ۷۵٪ کـل سـفرهای درون‌شـهری برسـد. مقدار این شاخص در تهران، در سـال ۱۳۹۲ بـه ۵۶/۱٪ (۱۳/۸٪ سهم مترو، ۲۰٪ سهم اتوبوس و مینی‌بوس و ۲۲/۳٪ درصد سهم تاکسی از حمل‌ونقل عمومی تهران) رسید.

۸- الزامات فناورانه برای بهسازی ترافیک تهران

برای کنتـرل شـاخص‌هـای ترافیکـی و بهبـود بخشـیدن بـه ترافیک شهری، مجموعه اقدامات و الزامات فنی یـا تکنولوژیـک، اعم از زیرساختی و سخت‌افزاری، نرم‌افزاری، اجتماعی و فرهنگی مورد نیاز است. برای نمونه، توسعه حمل‌ونقل عمـومی و توسـعه شبکه معابر شهری از جمله الزامـات زیرسـاختی، مونیتورینـگ و کنترل هوشمند ترافیک از جمله اقـدامات نـرم‌افـزاری و تشـویق مردم به استفاده از وسایل حمل‌ونقل عمومی و پرهیز از سفرهای غیرضروری با هـر وسـیله نقلیـه، از جملـه اقـدامات اجتمـاعی و فرهنگی است. برای رسیدن بـه اهـداف تعیـین‌شـده و بهسـازی ترافیک تهران، اقدامات و پروژه‌هـایی بـه شـرح شـکل شـماره ۱ تعریف، برنامه‌ریزی و اجرا شده است.



شکل شماره ۱- پروژه‌ها و اقدامات بهبوددهنده ترافیک تهران[۱۳]

اکنون به ترتیب به اهم اقدامات ذی‌ربط اشاره می‌شود.

۸-۱) با راه‌اندازی ۶ خط اتوبوس تندرو، ناوگان اتوبوس‌رانی به رکورد ۴,۲ میلیون جابه‌جایی در روز دست یافت. هم‌اکنون (سال ۱۳۹۴) در تهران ۱۰ خط اتوبوس تندرو، جمعاً به طول ۱۶۲ کیلومتر، فعال است.

۸-۲) طی سال‌های ۱۳۸۴ تا ۱۳۹۰ در تهران بیش از ۳۵۵۰ دستگاه اتوبوس برای نوسازی ناوگان از رده خارج شد.

۸-۳) مترو با توجه به امتیازات منحصر به فرد خود از جمله ایمنی بسیار بالا، راحتی و آسایش مسافران، کاهش مصرف سوخت و آلودگی هوا، کاهش نسبی ترافیک، سرعت مناسب، قیمت (بلیت) نسبتاً پایین در مقایسه با سیستم‌های دیگر حمل‌ونقل (با توجه به طول مسیرهای جابه‌جایی) و ارائه خدمات از ساعت ۵ تا ۲۳ به رکورد بیش از ۲ میلیون جابه‌جایی در روز دست یافته است. طول خطوط مترو به ۱۲۹ کیلومتر در سال ۱۳۹۰، ۱۴۰ کیلومتر در سال ۱۳۹۱(شامل ۸۲ ایستگاه) و ۱۵۲ کیلومتر در سال ۱۳۹۲ رسید. مترو پرظرفیت‌ترین سیستم حمل‌ونقل همگانی است و هر قطار آن معادل ۲۵ اتوبوس یا ۳۲۵ تاکسی ظرفیت جابجایی مسافر دارد. «ترکیب شغلی مسافران متروی تهران و حومه عبارت است از: کارمند ۳۰ درصد، دانشجو ۲۶ درصد، آزاد ۲۲ درصد، کارگر ۶ درصد، خانه‌دار ۶ درصد، دانش‌آموز ۴ درصد، بازنشسته ۳ درصد، سایر ۳ درصد»[۴].

۸-۴) شبکه معابر شامل شبکه‌های بزرگراهی، تقاطع‌های غیر همسطح، رمپ‌ولوپ‌ها، پل‌ها و تونل‌ها و ...، نقش موثری در روان‌سازی ترافیک دارد. بر اساس طرح جامع و تفصیلی، شهر تهران به ۵۵۰ کیلومتر شبکه بزرگراهی نیاز دارد. طول بزرگراه‌های موجود در شهر تهران در سال ۱۳۸۴ در حدود ۳۰۴ کیلومتر بود که تا سال ۱۳۹۰ با ۱۷۱ کیلومتر افزایش به ۴۷۵ کیلومتر و سپس تا مرداد ۱۳۹۴ به ۵۳۵ کیلومتر رسید. لذا تهران در زمینه بزرگراه، کمبود قابل ملاحظه‌ای ندارد.

۸-۵) در سال ۱۳۸۴ در تهران ۱۵۷ تقاطع غیرهمسطح وجود داشت که تا مرداد ۱۳۹۴ به ۳۳۵ دستگاه رسید. طی این مدت ۵۲ کیلومتر به طول پل‌ها و تقاطع های غیرهمسطح شهر تهران افزوده شد.

۸-۶) از سال ۱۳۸۴ تا ۱۳۹۴چهار تونل در تهران احداث شده است: تونل رسالت (دوطرفه و جمعاً به طول ۲۰۰۴ متر)، تونل توحید (دوطرفه و جمعاً به طول ۴۲۷۲ متر)، تونل نیایش (دوطرفه و جمعاً به طول ۱۰۲۵۲ متر) و ادامه تونل امیرکبیر.

۸-۷) طبق مصوبه جلسه ۱۱۷ شورای عالی هماهنگی ترافیک شهرهای کشور، شهرداری‌ها موظف‌اند برای اعمال برنامه‌های کنترلر چراغ راهنمایی، نرم‌افزاری را پیش‌بینی کنند. برنامه‌ریزی کنترل چراغ راهنمایی باید با هماهنگی پلیس راهنمایی و رانندگی بر اساس برداشت و تحلیل جریان ترافیک در دوره‌های زمانی حداکثر سه‌ماهه توسط کارشناسان در شهرداری بهنگام شود. دوربین‌های نظارت تصویری، یک ابزار فناورانه است که امکان رصد(مونیتورینگ) و مدیریت بر ترافیک شهر را می‌دهد. با آنها می‌توان خرابی یا تصادفات خودروها که منجر به بروز ترافیک شدید شده باشد رصد کرد و سریعاً موضوع را برای رفع انسداد معبر به مسئولین ذی‌ربط اطلاع داد. همچنین با پردازش داده‌ها و اطلاعات دوربین‌های نظارت تصویری در یک نرم‌افزار خاص، امکان اطلاع‌رسانی میزان ترافیک بزرگراه‌ها و معابر اصلی در قالب نمایه‌های رنگی(آبی – سبز – زرد – نارنجی – قرمز) و از طریق سایت اینترنتی یا نمایشگرهای بزرگ نصب‌شده در بزرگراه‌ها به وجود می‌آید. کارکرد جدید دوربین‌های نظارت تصویری، ثبت تخلفات راهنمایی و رانندگی با استفاده از نرم‌افزار هوشمند پلاک‌خوان است. در حال حاضر بیش از ۶۰۰ دوربین نظارت تصویری در شهر تهران فعال است که در حدود ۲۰۰ دوربین قابلیت ثبت تخلفات راهنمایی و رانندگی را دارند. تبدیل سیستم آنالوگ به دیجیتال در دوربین‌های نظارت تصویری و توسعه شبکه فیبر نوری تا ۴۰۰ کیلومتر، زمینه توسعه این دوربین‌ها را فراهم آورده است. شبکه فیبر نوری، بستر ارتباطی سیستم‌های نظارت تصویری معابر سطح شهر با سیستم‌های هوشمند حمل‌ونقل است. نصب چراغ‌های راهنمایی هوشمند و ایجاد تقاطع‌های هوشمند، یکی دیگر از ابزار تکنولوژیک است که

موجب بهسازی ترافیک شهر می‌شود. در تهران بیش از ۳۰۰۰ تقاطع مجهز به انواع چراغ‌های راهنمایی و رانندگی است. اختصاص مدت زمان‌های ثابت به چراغ‌های مسیرهای مختلف در تمام طول شبانه‌روز و بدون توجه به رفتار ترافیکی شهروندان در ساعات مختلف مانند حرکت‌های صبحگاهی به سمت مرکز شهر یا حرکت‌های عصرگاهی خروج از مرکز شهر و همچنین بدون در نظر گرفتن حجم خودروهای عبوری دو طرف تقاطع، باعث بالا رفتن تاخیر می‌شود. با استفاده از سیستم بی‌سیم (وایرلس) امکان تنظیم مدت زمان چراغ سبز یک تقاطع از راه دور وجود دارد. شرکت کنترل ترافیک تهران در سال ۱۳۷۲ یک سیستم موفق کنترل هوشمند مرکزی در دنیا به نام SCATS را خریداری و از آن بهره‌برداری کرد. این سیستم، با استفاده از شناسگرهای مغناطیسی بی‌سیم حجم ترافیک عبوری در محورهای مختلف یک تقاطع را محاسبه و بر مبنای آن به صورت خودکار مدت زمان چراغ سبز هر طرف را تعیین و اعمال می‌کند. هم‌اکنون در حدود ۴۴۰ تقاطع تهران به سیستم هوشمند کنترل مرکزی مجهز شده است. تبدیل سیستم کنترل چراغ‌های راهنمایی از چشمک‌زن به زمان‌دار بر اساس نتایج مطالعات ترافیکی تقاطع‌ها و تجهیز تقاطع‌های زمان‌دار به شمارنده معکوس مدت زمان باقی‌مانده، از دیگر اقدامات تکنولوژیک موثر در بهسازی ترافیک است (سایت اینترنتی شرکت کنترل ترافیک تهران، ۱۳۹۴).

۸-۸) برای تحرک پویا و روان در جامعه ارتباطی و اطلاعاتی و ارائه خدمات بهتر به شهروندان، اقداماتی در راه‌اندازی شهر الکترونیک و مدیریت تقاضای سفر صورت گرفته است که منجر به حداقل ۱۰٪ کاهش در ترافیک تهران خواهد شد.

۸-۹) خودروهای فرسوده علاوه بر آلایندگی زیاد هوا، معمولاً از کندی حرکت، نقص در چراغ‌های جلو و عقب و راهنما، احتمال زیاد خرابی و در نتیجه توقف در سطح شهر برخوردارند. لذا الزام به معاینه فنی خودروها و از رده خارج کردن خودروهای فرسوده، علاوه بر فواید دیگر، در بهسازی ترافیک شهر نیز موثر است.

۹- نتایج به‌کارگیری الزامات فناورانه و تجزیه و تحلیل شاخص‌های ترافیکی

جدول شماره ۷ مقادیر اهم شاخص‌های ترافیکی تهران در سال‌های ۱۳۸۴ و ۱۳۹۰ را نشان می‌دهد. البته شاخص ردیف ۲ مربوط به کل سفرهای درون‌شهری است و متوسط سرعت جابه‌جایی وسایل نقلیه عمومی در تهران در سال ۱۳۹۰ بر حسب کیلومتر بر ساعت چنین بود: مترو ۴۴,۵، اتوبوس تندرو ۱۶,۹ و اتوبوس معمولی ۱۶. مقایسه ستون‌های ۴ و ۵ جدول شماره ۷ وضعیت بهبود یا افت اهم شاخص‌های ترافیکی تهران طی سال‌های یادشده را نشان می‌دهد. پس از ۶ سال، با وجود افزایش جمعیت و تعداد خودروهای شهر تهران، مقادیر شاخص‌های ردیف ۲ و ۳ تقریباً کنترل شده و تغییرات زیادی نداشته است. در مقادیر شاخص ردیف ۸ و شاخص ردیف ۹ (که مجموع مقادیر شاخص‌های ردیف ۱۰، ۱۱ و ۱۲ است) افزایش به چشم می‌خورد.

جدول شماره ۷ - مقادیر اهمّ شاخص‌های ترافیکی تهران در سال‌های ۱۳۸۴ و ۱۳۹۰[۱۳]

ردیف	شاخص	واحد	۱۳۸۴	۱۳۹۰	درصد تغییر
۱	تعداد سفرهای روزانه درون‌شهری	میلیون سفر	۱۴/۷	۱۷	۱۵/۶
۲	میانگین سرعت سفر روزانه درون‌شهری	کیلومتر در ساعت	۲۶/۸	۲۶/۵	-۱/۱
۳	متوسط زمان یک سفر درون‌شهری	دقیقه	۲۱/۵	۲۵/۱	۱۶/۷
۴	متوسط زمان تاخیر به زمان سفر	درصد	۵۲	۵۱/۱	-۱/۷
۵	متوسط شبکه کند و بحرانی	درصد	۲۵/۵	۲۸/۶	۱۲/۲
۶	تعداد سفرهای حمل‌ونقل عمومی روزانه درون‌شهری	میلیون سفر	۷	۹/۳	۳۲/۹
۷	متوسط زمان سفر با وسایل نقلیه عمومی	دقیقه برای هر کیلومتر	۱۹	۱۵/۵	-۱۸/۴
۸	متوسط سرعت جابه‌جایی در حمل‌ونقل عمومی	□یلومتر در ساعت	۱۷/۱	۲۳/۲	۳۵/۷
۹	سهم حمل‌ونقل عمومی در سفرهای درون‌شهری	درصد	۴۷/۶	۵۴/۵	۱۴/۵
۱۰	سهم حمل‌ونقل ریلی (مترو) در سفرهای درون شهری	درصد	۴/۱	۱۰	۱۴۳/۹
۱۱	سهم حمل‌ونقل با اتوبوس و مینی‌بوس در سفرهای درون‌شهری	درصد	۲۰/۴	۲۳	۱۲/۷
۱۲	سهم حمل‌ونقل با تاکسی در سفرهای درون‌شهری و آژانس	درصد	۲۳/۱	۲۱/۵	-۶/۹
۱۳	سهم حمل‌ونقل سرویس‌های اداری، آموزشی و سایر	درصد	۱۰/۲	/۵	-۶/۹

۱۰- الزامات اجتماعی و فرهنگی و تاثیر آنها بر برخی شاخص‌های ترافیکی

در کنار الزامات تکنولوژیک، باید از الزامات اجتماعی و فرهنگی نیز برای بهبود وضع ترافیک شهر بهره گرفت. آموزش‌های عمومی و فرهنگ‌سازی جهت رعایت قوانین و توصیه‌های ترافیکی توسط همه شهروندان، اعم از رانندگان و عابرین، از جمله این الزامات است. آموزش قوانین و مقررات راهنمایی و رانندگی مرتبط با دانش‌آموزان در مدارس، احیای خط‌کشی‌های خیابان‌ها و اجرای طرح خط سفید (تردد بین خطوط توسط رانندگان و عبور از خط عابر توسط عابرین)، تهیه و پخش تلویزیونی تیزرها و کلیپ‌های آموزش قوانین و مقررات و فرهنگ ترافیک به مردم از الزامات اجتماعی و فرهنگی برای بهسازی ترافیک است. در برخی کشورها نقض قوانین و مقررات راهنمایی و رانندگی، علاوه بر جرائم مالی، مجازات‌هایی از نوع اعمال محدودیت‌های اجتماعی نظیر کاهش اعتبار بانکی، کار اجباری چندروزه در مراکز عام‌المنفعه، شرکت مجدد در کلاس‌های آموزشی رانندگی را برای شخص خاطی در پی دارد. با اقدامات اجتماعی و فرهنگی، می‌توان برخی از شاخص‌های ترافیکی شهر را بهبود داد و به استاندارد خود رساند یا نزدیک کرد. برای نمونه، در جدول شماره ۸ چند شاخص ترافیکی متاثر از اقدامات اجتماعی و فرهنگی به همراه استانداردهای جهانی آنها به همراه توضیحات مرتبط بر اساس جمع‌بندی نویسندگان و با توجه به استاندارد معابر شهری (۱۳۹۳) آمده است.

جدول شماره ۸- چند شاخص ترافیکی متاثر از اقدامات اجتماعی و فرهنگی

ردیف	شاخص ترافیکی	مقدار استاندارد	مقدار در تهران	توضیح الزامات اجتماعی و فرهنگی
۱	حد اکثر مدت زمان چراغ قرمز هر تقاطع	۱۲۰ ثانیه	۱۹۹ ثانیه	در صورت صبوری رانندگان و تخلیه بموقع تقاطع در هنگام روشن شدن چراغ زرد، عدم شروع به حرکت عابرین در خط سفید عابر تا روشن شدن چراغ سبز عابر (یا اتمام کامل زمان چراغ سبز و روشن شدن چراغ قرمز برای جهت دیگر تقاطع) و امثال آن، می‌توان حتی در اوج ترافیک، برای هیچ چراغ قرمزی در شهر، مدت زمان بیشتر از ۱۲۰ ثانیه منظور نکرد.
۲	سهم حمل‌ونقل عمومی (با مترو، اتوبوس، مینی‌بوس یا تاکسی) در سفرهای درون‌شهری	۷۵ درصد	۵۶،۱ درصد (در سال ۱۳۹۲)	علاوه بر لزوم افزایش زیرساخت‌ها، توسعه مترو و تعداد اتوبوس‌ها، تشویق شهروندان به استفاده از وسایل حمل‌ونقل عمومی و کاهش استفاده از خودروی تک‌سرنشین، در بهبود این شاخص موثر است.
۳	تعداد اتوبوس‌های شهر	به‌ازای هر ۱۰۰۰ نفر یک دستگاه	به‌ازای هر ۳۰۰۰ نفر یک دستگاه	توسعه ناوگان اتوبوس‌رانی ضروری است.
۴	میانگین مسافت برای دسترسی به اولین ایستگاه مترو یا اتوبوس یا تاکسی	۳۰۰ متر	حدود ۵۰۰ متر	توسعه خطوط و ایستگاه‌ها، به‌ویژه در مورد مترو، ضروری است.
۵	میانگین سرعت تردد خودروها در معابر[۵]	۴۵ Km/h	۲۷،۲ Km/h	کم‌بودن میانگین سرعت در شهر موجب افزایش مصرف سوخت و آلودگی هوا و اتلاف وقت شهروندان می‌شود. رعایت مقررات خط سفید و پرهیز از تغییر جهت ناگهانی، تا ۳۰ درصد در کاهش ترافیک و افزایش سرعت موثر است.

۵ سرعت مجاز در معابر محلی ۴۰ Km/h، در معابر جمع‌وپخش‌کننده ۴۵ Km/h و در معابر شریانی ۵۰ Km/h است[استاندارد معابر شهری، ۱۳۹۳]

۱۱- نتیجه‌گیری

آلاینده‌های مختلف هوا بجز اثر بر گیاهان، جانوران و ابنیه، آثار متفاوتی را بر انسان می‌گذارند. پژوهشگران مختلف، سهم عوامل متحرک در بروز آلودگی هوای تهران را در مقاطع زمانی مختلف با روش‌های مختلف بین ۵۸ تا ۹۰ درصد محاسبه کرده‌اند؛ اما این سهم را باید با توجه به نوع و شدت پیامدهای هر آلاینده تعیین کرد که در این مقاله روشی بدین منظور ارائه شد. بر اساس این روش، سهم ترافیک در بروز پیامدهای آلودگی هوا ۵۵,۶ درصد است. گرچه این رقم از ادعاهای ۷۰ تا ۸۰ درصدی برخی محققین یا مسئولین کمتر است؛ اما در هر صورت، در تهران، ترافیک متهم اصلی آلودگی هواست. در ارزیابی نتایج اجرای هر راه‌کار بهبود ترافیک، باید به تاثیر آن در کاهش آلودگی هوا به تفکیک آلاینده‌ها و آثار منفی آنها توجه کرد. امروزه در کلان‌شهرها استفاده از اقدامات فنی و الزامات تکنولوژیک برای بهسازی ترافیک اجتناب‌ناپذیر است. توسعه وسایل حمل‌ونقل عمومی (نظیر مترو و اتوبوس تندرو) و فرهنگ استفاده از آن، یک الزام برای بهسازی ترافیک است؛ اما در کنار این‌گونه الزامات، نباید از اقدامات فنی نوین غافل بود. برای نمونه، می‌توان از نصب چراغ‌های راهنمایی هوشمند و ایجاد تقاطع‌های هوشمند نام برد. استفاده از نرم‌افزارهای شبیه‌ساز ترافیکی برای تنظیم مدت‌زمان چراغ‌های راهنمایی و رانندگی زنجیره‌ای (مانند ۱۰ چراغ قرمز خیابان طالقانی تهران) به گونه‌ای که کمترین توقف پشت چراغ قرمز حاصل شود، از نمونه‌های دیگر در این رابطه است. همچنین، اطلاع‌رسانی برخط (آنلاین) از وضعیت ترافیک بزرگراه‌ها و معابر اصلی به شهروندان با استفاده از وب‌سایت یا نمایشگرهای سطح شهر، به انتخاب مسیر مناسب و در نتیجه کاهش سرجمع ترافیک در معابر شهر و تحقق یک رابطه برد- برد بین شهروندان و مسئولین ترافیک شهری کمک می‌کند. در کنار الزامات تکنولوژیک، باید از فرهنگ‌سازی و اقدامات اجتماعی نیز جهت رعایت قوانین و مقررات و توصیه‌های ترافیکی توسط رانندگان و عابرین بهره گرفت.

فهرست منابع

[۱] آل‌شیخ، علی‌اصغر؛ قراگوزلو، علیرضا؛ سجادیان، مهیار؛ **"بررسی آلودگی هوای منتج از ترافیک شهر تهران با بهره‌گیری از مدل LUR در تلفیق با GIS و ضرایب انتشار"**، فصلنامه جغرافیا و برنامه‌ریزی شهری چشم‌انداز زاگرس، سال چهارم، شماره ۱۱، ۱۳۹۱.

[۲] بیات، رضا؛ **سهم بندی منابع تولید آلودگی هوای شهر تهران**، پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه صنعتی شریف، دانشکده مهندسی عمران، تهران، ۱۳۸۳.

[۳] فرجی ملایی، امین؛ عظیمی، آزاده؛ پوراحمد، احمد؛ **"ابعاد پایداری حمل‌ونقل عمومی شهری با تاکید بر BRT"**، یازدهمین کنفرانس بین‌المللی حمل‌ونقل و ترافیک، تهران، صفحه ۱۲، ۱۳۹۰.

[۴] اداوی، مجید؛ منتظری، محمد؛ سعیدی مقدم، آرش؛ **"آثار اقتصادی، اجتماعی و زیست‌محیطی بهره‌برداری از متروی تهران"**، یازدهمین کنفرانس بین‌المللی حمل‌ونقل و ترافیک، تهران، صفحه ۵، ۱۳۹۰.

[۵] شجاعی، پریسا؛ فروزان، آمنه؛ **"ارزیابی اثرات سلامتی برنامه‌های حمل‌ونقل"**؛ یازدهمین کنفرانس بین‌المللی حمل‌ونقل و ترافیک، تهران، صفحه ۱، ۱۳۹۰.

[۶] بینش، مسعود؛ **"چگونه پیشتاز بمانیم: ادب و آداب ارزیابی (ارزیابی جوایز تعالی از نگاهی دیگر)"**، ماهنامه علمی، آموزشی، تخصصی تدبیر، دوره ۲۳، شماره ۲۴۱، صص ۸۳-۷۸، ۱۳۹۱.

[۷] پرکینز، هنری(ترجمه: غیاث‌الدین، منصور)؛ **آلودگی هوا**، مؤسسه انتشارات چاپ دانشگاه تهران، چاپ دوم، صفحه۴، مهر ۱۳۷۳.

[۸] حجتی اشرفی، غلامرضا؛ **مجموعه کامل قوانین و مقررات محشای شهرداری و شورای اسلامی**، نشر کتابخانه گنج دانش، چاپ ۴، صفحه ۱۳۶۹، ۱۳۸۷.

[۹] کدیور، هوشنگ؛ **"آلودگی هوا و راه‌های مبارزه با آن"**، فصلنامه فرهنگ جهاد، سال هفتم، شماره ۲۷، صص ۱۳۴-۵، ۱۳۸۱.

[۱۰] سازمان ملی استاندارد ایران(ISIRI)؛ **استاندارد معابر شهری- آرام‌سازی ترافیک**، استاندارد شماره ۱۴۲۳۷، چاپ اول، ۱۳۹۳.

[۱۱] استانداری تهران، دفتر آمار و اطلاعات؛ **سالنامه آماری استان تهران ۱۳۹۱**، نشر فاطرنگار، زمستان ۱۳۹۲.

[۱۲] نیومن، پیتر؛ **"رویای ساخت شهرهای مدرن"**، ماهنامه سیاحت غرب، سال پنجم، شماره ۶۰، تیر ۱۳۸۷.

[۱۳] آمار و اطلاعات شهرداری تهران، زیرمجموعه پورتال شهرداری تهران به نشانی http://services1.tehran.ir/Default.aspx?tabid=233&YId=1392- بخش شاخص‌های حمل‌ونقل و ترافیک- تاریخ ۱۳۹۴/۰۷/۰۱

[۱۴] سایت اینترنتی شرکت کنترل ترافیک تهران به نشانی: http://trafficcontrol.tehran.ir تاریخ ۱۳۹۴/۰۷/۰۱

[۱۵] پایگاه اطلاع‌رسانی سلامتیران؛ **تأثیر ساخت‌وسازها بر آلودگی هوا**.
http://salamatiran.com/NSite/FullStory/?id=57399

[16] Asadikia, H.; Oyarhossein, R.; Saleh, I.; Rafiee, H.; Zare, S.; "*Economic Growth and Air Pollution in Iran during Development Programs*", Journal of Environmental Studies, Vol. 35, No. 51, p 1, December 2009.

[17] Parasuraman, A.; Zeithamel, V.A; Berry Servqual, L.L.; "*Multiple-Item Scale for Measuring citizen Perceptions of Service Quality*", Journal of Retailing, Vol. 64, 2005.

[18] Health Scotland; *MRC Social and Public Health Sciences Unit and Institute of Occupational Medicine; Health Impact Assessment of Transport Initiatives*, A Guide, Health Scotland Ediburgh Office, Scotland, p15, 2007

[19] Watkiss, Paul; Brand, Christian; Hurley, Fintan; Pilkington, Adele; Mindell, Jennifer; Joffe, Mike; Anderson, Ross; "*Informing transport health impact assessment in London*", NHS Executive, London, UK, p9, p135, October 2000.

[۲۰] مرکز سلامت وزارت بهداشت، درمان و آموزش پزشکی؛ **راهنمای محاسبه، تعیین و اعلام شاخص کیفیت هوا**، دی ۱۳۹۰، صفحات ۱۱، ۱۳ و ۳۰ تا ۳۴.

پژوهشگاه علوم انسانی و مطالعات فرهنگی
پرتال جامع علوم انسانی

پژوهشگاه علوم انسانی و مطالعات فرهنگی
پرتال جامع علوم انسانی