مسلسل: ۱۹۱۴۸
تیر ۱۴۰۲

مرکز پژوهش‌های مجلس شورای اسلامی

دفتر مطالعات زیربنایی

# پویایی شناسی آلودگی هوا

بسم الله الرحمن الرحيم

تاریخ انتشار:
۱۴۰۲/۴/۲۷

شماره مسلسل: ۱۹۱۴۸
کد موضوعی: ۲۵۰

مرکز پژوهش‌های مجلس شورای اسلامی

**عنوان گزارش:**
# پویایی‌شناسی آلودگی هوا

**نام دفتر:**
مطالعات زیربنایی

**تهیه و تدوین کنندگان:**
مسعود رضایی، رضا بیات (دفتر مطالعات زیربنایی)
محمدمهدی فروزان‌فر، رامین حسینعلی‌زاده (حوزه ریاست)

**مدیر مطالعه:**
هادی افراسیابی

**ناظران علمی:**
بابک نگاهداری، محمدحسن معادی رودسری، الهه سلیمانی

**همکاران:**
شهاب دبیری‌نژاد (دفتر مطالعات زیربنایی)
حمیدرضا ایزدبخش (حوزه ریاست)

**تاریخ شروع:**
۱۴۰۱/۱۲/۶

**تاریخ خاتمه:**
۱۴۰۲/۴/۱۹

**ویراستار ادبی:**
شیوا امین اسکندری

**گرافیک و صفحه آرایی:**
آذر مهمان نواز

**واژه‌های کلیدی:**
۱. آلودگی هوا
۲. پویایی‌شناسی
۳. محیط زیست
۴. حکمرانی

دفتر مطالعات زیربنایی

## فهرست مطالب


چکیده ..... ۷
خلاصه مدیریتی ..... ۸
مقدمه ..... ۹
۱. روند کیفیت هوای کلان‌شهر تهران در دهه اخیر ..... ۱۲
۲. پیامدهای آلودگی هوا ..... ۱۴
۳. سیاهه انتشار منابع آلاینده هوا ..... ۱۵
۴. منابع ساکن آلاینده هوا ..... ۱۷
۵. منابع متحرک آلاینده هوا ..... ۲۱
۶. سازوکارهای حقوقی و قانونی در حوزه آلودگی هوا ..... ۲۵
۷. مدل پویایی‌شناسی آلودگی هوا ..... ۲۸
جمع‌بندی ..... ۳۸
منابع و مآخذ ..... ۳۹


## فهرست جداول


جدول ۱. رتبه‌بندی کشورها در سالیان گذشته براساس غلظت سالیانه ($PM_{۲,۵}$ $\mu g/m^۳$) ..... ۱۰
جدول ۲. جایگاه ایران در شاخص عملکرد محیط زیست در سال ۲۰۲۲ ذیل زیرگروه کیفیت هوا ..... ۱۲
جدول ۳. برآورد تعداد مرگ‌های منتسب به $PM_{۲.۵}$ شهر تهران در سال ۱۴۰۰ ..... ۱۵
جدول ۴. ضریب انتشار سوخت‌ها اعم از گازوئیل، نفت کوره و گاز طبیعی ..... ۱۹
جدول ۵. خلاصه آماری میزان پیشرفت اجرای مفاد قانون هوای پاک ..... ۲۶

## فهرست شکل‌ها


شکل ۱. نقشه جهانی غلظت میانگین سالانه $PM_{2.5}$ ..... ۹
شکل ۲. رتبه‌بندی پایتخت کشورها براساس غلظت سالیانه $PM_{2.5}$ ($\mu g/m^3$) ..... ۱۱
شکل ۳. تعداد روزهای آلوده در شهر تهران طی دهه اخیر ..... ۱۳
شکل ۴. شاخص کیفیت هوای شهر تهران در سالیان اخیر ..... ۱۴
شکل ۵. شماتیک پیامدهای آلودگی هوا بر سلامت ..... ۱۴
شکل ۶. درصد انتشار آلاینده‌های گازی منابع متحرک و ساکن در ۹ کلان‌شهر کشور (سال ۱۳۹۶) ..... ۱۶
شکل ۷. درصد انتشار ذرات معلق منابع متحرک و ساکن در ۹ کلان‌شهر کشور (سال ۱۳۹۶) ..... ۱۶
شکل ۸. سهم وسایل نقلیه در انتشار ذرات معلق در حالت ترکیبی ..... ۱۷
شکل ۹. سوخت‌های مختلف مصرفی در نیروگاه‌های کشور در دهه اخیر ..... ۱۸
شکل ۱۰. میانگین شاخص آلاینده $SO_2$ در فصول چهارگانه شهر تهران و سوخت مایع مصرفی نیروگاه‌های کشور ..... ۱۹
شکل ۱۱. میزان مصرف بنزین موتور در کشور طی سالیان گذشته ..... ۲۰
شکل ۱۲. نمای کلی از متغیرهای مؤثر بر میزان انتشار اگزوز از وسایل نقلیه ..... ۲۱
شکل ۱۳. تعداد کل خودروهای شهر تهران براساس اطلاعات شماره‌گذاری ..... ۲۲
شکل ۱۴. بررسی عمر ناوگان وسایل نقلیه در حال تردد در شهر تهران براساس سال تولید ..... ۲۲
شکل ۱۵. آمار خودروهای از رده خارج شده طی سالیان اخیر ..... ۲۳
شکل ۱۶. میزان فرسودگی ناوگان اتوبوسرانی کلان‌شهرها ..... ۲۳
شکل ۱۷. مقایسه ضرایب انتشار ذرات معلق حاصل از رانندگی به شیوه تهاجمی و عادی (منبع: یافته‌های پژوهش) ..... ۲۴
شکل ۱۸. سهم شیوه‌های مختلف سفر در کلان‌شهرهای کشور ..... ۲۵
شکل ۱۹. مدل علی حلقوی کیفیت هوا ..... ۲۹
شکل ۲۰. منابع تولیدکننده آلاینده‌ها ..... ۳۰
شکل ۲۱. منابع ثابت و متحرک تولید آلودگی هوا ..... ۳۱
شکل ۲۲. آلاینده‌های طبیعی هوا ..... ۳۲
شکل ۲۳. نقش الگوی توسعه و توسعه متوازن در تشدید آلودگی هوا ..... ۳۳
شکل ۲۴. تأثیر تعطیلی ادارات و مدارس در زمان کاهش کیفیت هوا ..... ۳۴
شکل ۲۵. پیامدها و واکنش عمومی به کاهش کیفیت هوا ..... ۳۵
شکل ۲۶. نتایج افت شرایط اقتصادی بر آلودگی هوا ..... ۳۶
شکل ۲۷. عوامل اثرگذار بر آلودگی ناشی از منابع متحرک ..... ۳۶
شکل ۲۸. ارتباط میان کیفیت حکمرانی و آلودگی هوا- بخش اول ..... ۳۷
شکل ۲۹. ارتباط میان کیفیت حکمرانی و آلودگی هوا- بخش دوم ..... ۳۸

# پویایی‌شناسی آلودگی هوا

## چکیده

آلودگی هوا را شاید بتوان مهم‌ترین معضل محیط زیستی در شهرهای کشور دانست که طی سالیان اخیر پیامدهای گسترده‌ای را نظیر خسارات سلامت شهروندان، کاهش کیفیت زندگی و تعطیلی مدارس، ادارات و کسب‌وکارها را به‌همراه داشته است. با توجه به ماهیت پیچیده و پویای مسئله آلودگی هوا، اقدام‌های سیاستی و اجرایی کارا و اثربخش در این حوزه نیازمند تحلیل پویایی‌شناسی است که به همین منظور در گزارش حاضر یک مدل علی - حلقوی توسعه داده شده است. این نوع از مدل‌ها با مشخص کردن روابط علی و معلولی میان متغیرهای مهم، به شناسایی پویایی‌ها و بازخوردهای پیچیده سیستم‌ها می‌پردازند. با شناسایی این پیچیدگی‌ها، درک اجزای سیستم تسهیل شده و به اثربخشی و کارایی اقدام‌های سیاستی و اجرایی افزوده می‌شود. در نقطه مرکزی این مدل به تولید آلودگی اشاره شده است که طبعاً شامل منابع انتشار آلاینده‌های ثابت و متحرک در کنار آلاینده‌های طبیعی است. در تحلیل آلاینده‌های متحرک متغیرهایی نظیر وضعیت اسقاط وسایل نقلیه فرسوده، معاینه فنی، رقابت‌پذیری تولید وسایل نقلیه در کشور و ترافیک شهری نقش ویژه‌ای ایفا می‌کنند. در بخش منابع ثابت نیز علاوه بر پایانه‌های شهری، معادن شن و ماسه و مصرف انرژی در بخش صنعت و خانگی جز متغیرهای مهم به‌شمار می‌روند. درمجموع افزایش کیفیت حکمرانی در مسائل مربوط به ترافیک شهری و حمل‌ونقل عمومی و اصلاح الگوی مصرف از جمله راهکارهای اثربخشی شمرده می‌شود که به‌منظور کاهش انتشار آلاینده‌های هوا در دسترس است. امید است تحلیل پویایی‌شناسی حاضر از معضل آلودگی هوا بتواند زمینه مناسبی جهت اتخاذ اقدام‌های سیاستی و اجرایی بهینه و اثربخش را برای سیاستگذاران و مدیران کشور فراهم کند.

## خلاصه مدیریتی

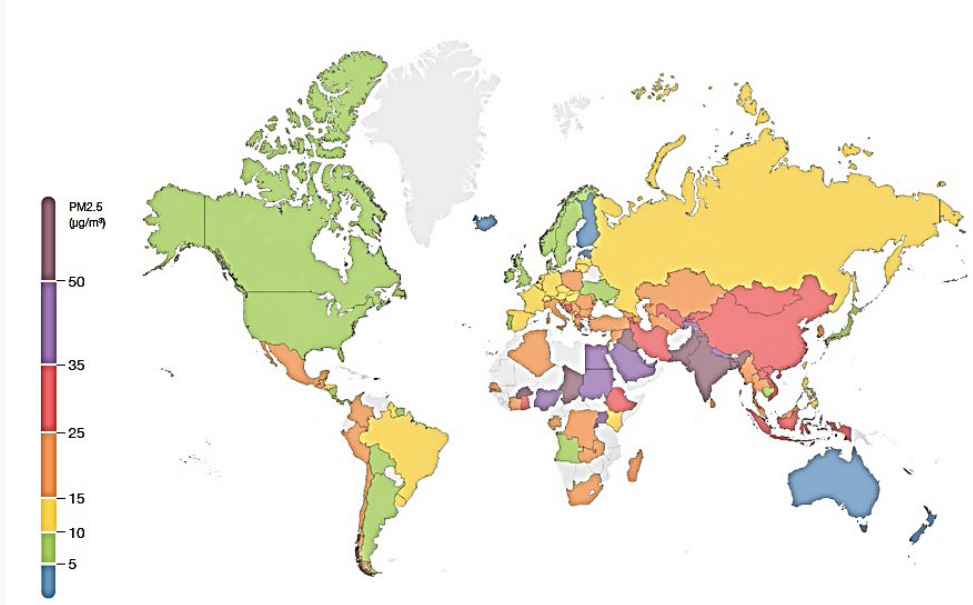
آلودگی هوا از جمله معضلات محیط‌زیستی است که بسیاری از کشورهای جهان با آن دست‌به‌گریبان هستند. بررسی وضعیت کشورهای مختلف از نظر آلودگی هوای ذرات معلق نشان می‌دهد **ایران در سال ۲۰۲۲ با غلظت ۳۲/۵ $\mu g/m^3$ در رتبه ۲۱ آلوده‌ترین کشورهای جهان** قرار داشته که بیش از ۶ برابر دستورالعمل سازمان بهداشت جهانی و بیش از ۲/۵ برابر استاندارد ملی ایران بوده است. مقایسه نتایج مربوطه برای سال‌های مختلف بیانگر سیر صعودی آلاینده $PM_{2.5}$ در کشور طی پنج سال اخیر است. **با توجه به نتایج گزارش‌های کمی‌سازی منتشر شده از سوی وزارت بهداشت درمان و آموزش پزشکی طی سال‌های ۱۳۹۵، ۱۳۹۶، ۱۳۹۷، ۱۳۹۸، ۱۳۹۹ و ۱۴۰۰ به ترتیب به‌طور میانگین ۱۳,۳۲۱، ۱۱,۰۹۳، ۱۰,۲۳۵، ۹,۹۰۵، ۱۱,۱۲۹ و ۲۰,۸۳۷ نفر مرگ کل (همه علل) منتسب به مواجهه طولانی‌مدت با ذرات معلق $PM_{2.5}$ در ۲۷ شهر کشور با جمعیت تقریبی ۳۵ میلیون نفر است.** علاوه‌بر خسارات فوق، آلودگی هوا پیامدهای منفی دیگری را در بخش‌های مختلف کشور نظیر تعطیلی مدارس، ادارات و کسب‌وکارها، مهاجرت نخبگان، کاهش کیفیت زندگی و خسارت به مردم از منظر سلامت روحی و روانی را به‌همراه داشته است. آخرین قانون جامع در حوزه آلودگی هوا، قانون هوای پاک است که در سال ۱۳۹۶ در مجلس شورای اسلامی تصویب شد. **به‌طور خلاصه از بین ۵۶ ماده مقرر در قانون هوای پاک و آیین‌نامه فنی آن اجرای ۲۲ ماده به‌صورت ضعیف، ۱۷ ماده متوسط و ۱۷ ماده خوب، برآورد کارشناسی شده است.** بنابراین بیشترین وزن کیفیت اجرا مربوط به اجرای ضعیف و پس از آن اجرای متوسط و خوب بوده است. با این توصیفات به‌طور کلی دستگاه‌های اجرایی در اجرای قانون هوای پاک و آیین‌نامه فنی آن عملکرد ضعیف رو به متوسط داشته‌اند.

در گزارش حاضر سعی شده است معضل آلودگی هوای شهرهای کشور با استفاده از **مدل علی و حلقوی** مورد تحلیل پویایی‌شناسی قرار گیرد. **در نقطه مرکزی این مدل به تولید آلودگی اشاره شده است که طبعاً شامل منابع انتشار آلاینده‌های ثابت و متحرک در کنار آلاینده‌های طبیعی است.** منابع انتشار متحرک عبارتند از: خودروها، موتورسیکلت‌ها و سیستم حمل‌ونقل عمومی که میزان آلایندگی آنها تحت تأثیر مقدار ترافیک نیز است. ازطرف‌دیگر منابع انتشار ثابت شامل آلودگی ناشی از مصرف انرژی در صنعت و بخش خانگی است که تحت تأثیر کیفیت سوخت قرار دارد. از دیگر منابع انتشار آلاینده‌ها می‌توان به پایانه‌های مسافربری و جایگاه‌های سوخت اشاره کرد که سالیانه مقدار زیادی آلودگی را وارد هوای شهر می‌کنند. الگوی توسعه شهری و توسعه متوازن شهرها از عواملی هستند که موجب تشدید آلودگی هوا و کاهش خود پالایی محیطی می‌شوند. ازطرف‌دیگر **توسعه نامتوازن شهری** عواقبی چون تمرکز مراکز تولید و جذب سفر را به‌دنبال دارد که موجب افزایش نیاز به سفرهای بین‌منطقه‌ای شده و آلودگی بیشتر از منابع انتشار متحرک را به‌همراه می‌آورد. کاهش کیفیت هوا پیامدهای مختلفی را به‌همراه دارد که در اثر آن جامعه متقابلاً واکنش‌هایی را خواهد داشت. **اصلی‌ترین پیامد کاهش کیفیت هوا افزایش خسارات سلامتی است که موجب مرگ‌ومیر و افزایش معنادار بیماری‌های مختلف می‌شود.** وضعیت اقتصادی نامطلوب اگرچه ممکن است تا حدودی استفاده از خودروهای شخصی را به‌دلیل افزایش هزینه‌ها کاهش دهد؛ ولی ازطرف‌دیگر موجب کاهش کیفیت نگهداری و سرویس آنها شده و می‌تواند میزان انتشار آلاینده‌ها را افزایش دهد. از دیگر نتایج افت شرایط اقتصادی کاهش اختصاص منابع به حمل‌ونقل عمومی است که درنتیجه نوسازی و بازسازی آنها را دچار چالش کرده و این اتفاق موجب کاهش کیفیت وسایل نقلیه عمومی و درنتیجه افزایش انتشار آلودگی از این بخش می‌شود. ازطرف‌دیگر افت شرایط اقتصادی افزایش انگیزه اصلاح الگوی مصرف را به‌همراه دارد که به استفاده بهینه‌تر منابع و ارتقای فرایندها و تکنولوژی‌های استفاده‌کننده و همچنین افزایش کیفیت سوخت می‌انجامد. علاوه بر ترافیک، کیفیت خودروها، موتورسیکلت‌ها و وسایل نقلیه عمومی عامل دیگری در میزان انتشار آلاینده‌های هواست. **افزایش کیفیت حکمرانی** در مسائل مربوط به ترافیک و حمل‌ونقل از جمله راهکارهای اثربخشی شمرده می‌شود که به‌منظور کاهش انتشار آلاینده‌های هوا در دسترس است. **افزایش کیفیت حکمرانی می‌تواند به شکل‌های مختلفی مانند غیرحضوری شدن خدمات، واقعی‌سازی قیمت سوخت و ارتقای برنامه‌ریزی حمل‌ونقل شهری فرصت بروز پیدا کند.** افزایش کیفیت حکمرانی همچنین می‌تواند به اتخاذ و یا تسریع در پیاده‌سازی و کیفیت سیاست‌ها منجر شود. ازطرفی وضع قوانین و تدوین برنامه‌های جامع مدیریت هوا و اجرای کارآمد آن و همچنین وضع تعرفه‌های گمرکی و تخصیص اثربخش منابع مالی به‌منظور نوسازی و بازسازی ناوگان حمل‌ونقل عمومی از جمله نتایج بهبود کیفیت حکمرانی در موضوع کیفیت هواست. به‌طور کلی افزایش کیفیت حکمرانی می‌تواند به اتخاذ راهکارهای اثربخش برای کنترل آلودگی هوا و پیاده‌سازی کاراتر آنها شود.

## مقدمه

آلودگی هوا از جمله معضلات محیط زیستی است که بسیاری از کشورهای جهان با آن دست‌به‌گریبان هستند. شکل ۱ نقشه جهانی غلظت میانگین سالیانه $PM_{2.5}$ (ذرات کوچک‌تر از ۲٫۵ میکرون) را برای کشورهای مختلف ارائه کرده است. همان‌گونه که مشخص است کشورهای اروپایی و آمریکای شمالی کیفیت هوای نسبتاً مطلوبی دارند، این در حالی است که کشورهای آسیایی نظیر هند، پاکستان و عراق آلودگی هوای بسیار بالایی را داشته‌اند [۱]. خلاصه‌ای از نتایج مطالعه انجام شده درباره کیفیت هوای شهرهای جهان براساس غلظت سالیانه $PM_{2.5}$ است. براساس نتایج به‌دست آمده، ایران در سال ۲۰۲۲ با غلظت $\mu g/m^3$ ۳۲/۵ در رتبه ۲۱ آلوده‌ترین کشورهای جهان قرار داشته که بیش از ۶ برابر دستورالعمل سازمان بهداشت جهانی و بیش از ۲٫۵ برابر استاندارد ملی ایران بوده است. مقایسه نتایج مربوطه برای سال‌های مختلف بیانگر سیر صعودی آلاینده $PM_{2.5}$ در کشور طی پنج سال اخیر است. علاوه بر این، مقایسه پایتخت کشورهای مختلف نشـــان می‌دهد تهران با غلظت $\mu g/m^3$ ۳۶/۱ در رتبه ۲۱ آلوده‌ترین پایتخت کشورهای جهان قرار داشته است که بیش از هفت برابر دســـتورالعمل سازمان بهداشت جهانی و بیش از سه برابر استاندارد ملی ایران است.

**شکل ۱. نقشه جهانی غلظت میانگین سالانه PM۲٫۵ [۱]**



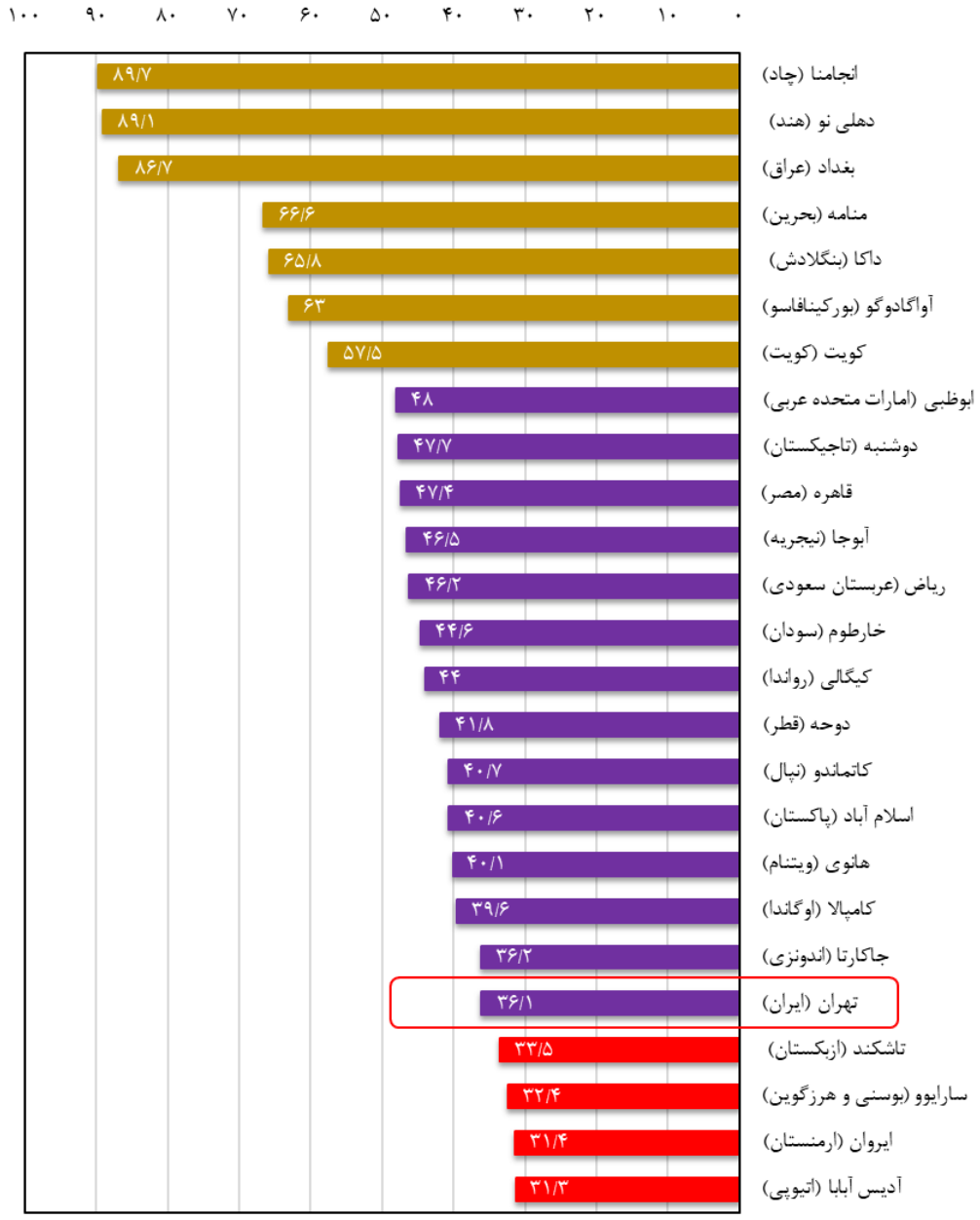
## جدول ۱. رتبه‌بندی کشورها در سالیان گذشته براساس غلظت سالیانه $PM_{2.5}$ ($\mu g/m^3$)* [۱]

| | نام کشور | ۲۰۲۲ | ۲۰۲۱ | ۲۰۲۰ | ۲۰۱۹ | ۲۰۱۸ |
|---|---|---|---|---|---|---|
| ۱ | چاد | ۸۹٫۷ | ۷۵٫۹ | | | |
| ۲ | عراق | ۸۰٫۱ | ۴۹٫۷ | | ۳۹٫۶ | |
| ۳ | پاکستان | ۷۰٫۹ | ۶۶٫۸ | ۵۹ | ۶۵٫۸ | ۷۴٫۳ |
| ۴ | بحرین | ۶۶٫۶ | ۴۹٫۸ | ۳۹٫۷ | ۴۶٫۸ | ۵۹٫۸ |
| ۵ | بنگلادش | ۶۵٫۸ | ۷۶٫۹ | ۷۷٫۱ | ۸۳٫۳ | ۹۷٫۱ |
| ۶ | بورکینافاسو | ۶۳ | | | | |
| ۷ | کویت | ۵۵٫۸ | ۲۹٫۷ | ۳۴ | ۳۸٫۳ | ۵۶ |
| ۸ | هندوستان | ۵۳٫۳ | ۵۸٫۱ | ۵۱٫۹ | ۵۸٫۱ | ۷۲٫۵ |
| ۹ | مصر | ۴۶٫۵ | | | | |
| ۱۰ | تاجیکستان | ۴۶ | ۵۹٫۴ | | | |
| ۱۱ | امارات متحده عربی | ۴۵٫۹ | ۳۶ | ۲۹٫۲ | ۳۸٫۹ | ۴۹٫۹ |
| ۱۲ | سودان | ۴۴٫۶ | | | | |
| ۱۳ | رواندا | ۴۴ | | | | |
| ۱۴ | قطر | ۴۲٫۵ | ۳۸٫۲ | ۴۴٫۳ | | |
| ۱۵ | عربستان سعودی | ۴۱٫۵ | ۳۲٫۷ | ۲۳٫۳ | ۲۲٫۱ | |
| ۱۶ | نپال | ۴۰٫۱ | ۴۶ | ۳۹٫۲ | ۴۴٫۵ | ۵۴٫۱ |
| ۱۷ | اوگاندا | ۳۹٫۶ | ۲۷٫۶ | ۲۶٫۱ | ۲۹٫۱ | ۴۰٫۸ |
| ۱۸ | نیجریه | ۳۶٫۹ | ۳۴ | | ۲۱٫۴ | ۴۴٫۸ |
| ۱۹ | بوسنی و هرزگوین | ۳۳٫۶ | ۲۷٫۸ | ۴۰٫۶ | ۳۴٫۶ | ۴۰ |
| ۲۰ | ازبکستان | ۳۳٫۵ | ۴۲٫۸ | ۲۹٫۹ | ۴۱٫۲ | ۳۴٫۳ |
| ۲۱ | ایران | ۳۲٫۵ | ۳۰٫۳ | ۲۷٫۲ | ۲۴٫۳ | ۲۵ |

### *راهنمای جدول

| | |
|---|---|
| | بیش از ۱۰ برابر دستورالعمل سازمان بهداشت جهانی |
| | ۷ تا ۱۰ برابر دستورالعمل سازمان بهداشت جهانی |
| | ۵ تا ۷ برابر دستورالعمل سازمان بهداشت جهانی |
| | ۳ تا ۵ برابر دستورالعمل سازمان بهداشت جهانی |

شکل ۲. رتبه‌بندی پایتخت کشورها بر اساس غلظت سالیانه $PM_{2.5}$ ($\mu g/m^3$) [۲]




یکی از مهم‌ترین شاخص‌های محیط زیستی که در حال حاضر به‌صورت گسترده ملاک مقایسه کشورها بوده و در خصوص حفاظت از محیط زیست به‌صورت دوسالانه منتشر می‌شود، شاخص عملکرد محیط زیستی[1] (EPI) است که با همکاری مرکز قوانین و سیاست‌های زیست‌محیطی دانشگاه ییل و مرکز بین‌المللی شبکه اطلاعات علوم زمین دانشگاه کلمبیا از سوی مجمع جهانی اقتصاد تهیه می‌شود. از سال ۲۰۰۶ تاکنون ۹ گزارش به‌طور دوسالانه منتشر شده که تقریباً در هر گزارش تغییراتی در ساختار، شاخص‌ها، وزن شاخص‌ها، نحوه محاسبه و تعداد کشورها با توجه به دسترسی اطلاعات و تغییر دیدگاه و تعمیق درک مسائل محیط زیستی مشاهده می‌شود. کیفیت هوا از جمله زیرشاخص‌هایی است که ذیل هدف سلامت محیط زیستی مورد سنجش قرار می‌گیرد و ۱۱٪ از وزن کل محاسبه شاخص کلی عملکرد محیط زیستی به این زیرشاخص اختصاص داده شده است که بیانگر اهمیت کیفیت

1. Environmental Performance Index

هوا در نمره شاخص عملکرد محیط زیستی هر کشوری است. جهت ارزیابی کیفیت هوا نیز معیارهای هفتگانه در معرض قرار گرفتن با آلاینده‌های $PM_{2.5}$، ازن، NOX، CO، VOC[1]، $SO_2$ و سوخت‌های جامد خانگی است. درخصوص کشور ایران در سه شاخص قرار گرفتن در معرض NOX، $SO_2$ و CO رتبه و نمره بسیار ضعیفی کسب کرده است. این در حالی است که براساس اطلاعات سیاهه انتشار در کلان‌شهرهای کشور، دو آلاینده ذرات گردوغبار و ازن عامل اصلی آلایندگی هستند و آلاینده‌های NOX، $SO_2$ و CO در کلان‌شهرهای کشور غالباً در دامنه مجاز قرار دارند [۳]. این مسئله را شاید بتوان به عدم ارائه اطلاعات مناسب ازطرف کشور در این خصوص نسبت داد؛ چنان که در مورد شاخص قرار گرفتن در معرض NOX عملاً نمره‌ای ثبت نشده است. درمجموع براساس تجمیع زیرمعیارهای فوق، نمره کیفیت هوای کشور ۴۱/۶ محاسبه شده که به‌معنای رتبه ۷۰ بوده است.

1. Volatile Organic Compound (VOC)

**جدول ۲. جایگاه ایران در شاخص عملکرد محیط زیست در سال ۲۰۲۲ ذیل زیرگروه کیفیت هوا [۴]**

| | نمره | رتبه | تغییرات ۱۰ ساله |
|---|---|---|---|
| کیفیت هوا | ۴۱/۶ | ۷۰ | ۹/۲ |
| قرار گرفتن در معرض $PM_{2.5}$ | ۱۷/۲ | ۱۳۹ | ۷/۶ |
| سوخت‌های جامد خانگی | ۸۲/۲ | ۳۶ | ۱۶/۷ |
| قرار گرفتن در معرض ازن | ۳۱/۶ | ۱۴۵ | -۱/۳ |
| قرار گرفتن در معرض NOX | - | ۱۷۴ | -۴/۳ |
| قرار گرفتن در معرض $SO_2$ | ۷/۴ | ۱۶۹ | -۶/۰ |
| قرار گرفتن در معرض CO | ۶/۹ | ۱۶۹ | -۲۰/۸ |
| قرار گرفتن در معرض VOC | ۲۲ | ۱۰۹ | -۴/۲ |

## ۱. روند کیفیت هوای کلان‌شهر تهران در دهه اخیر

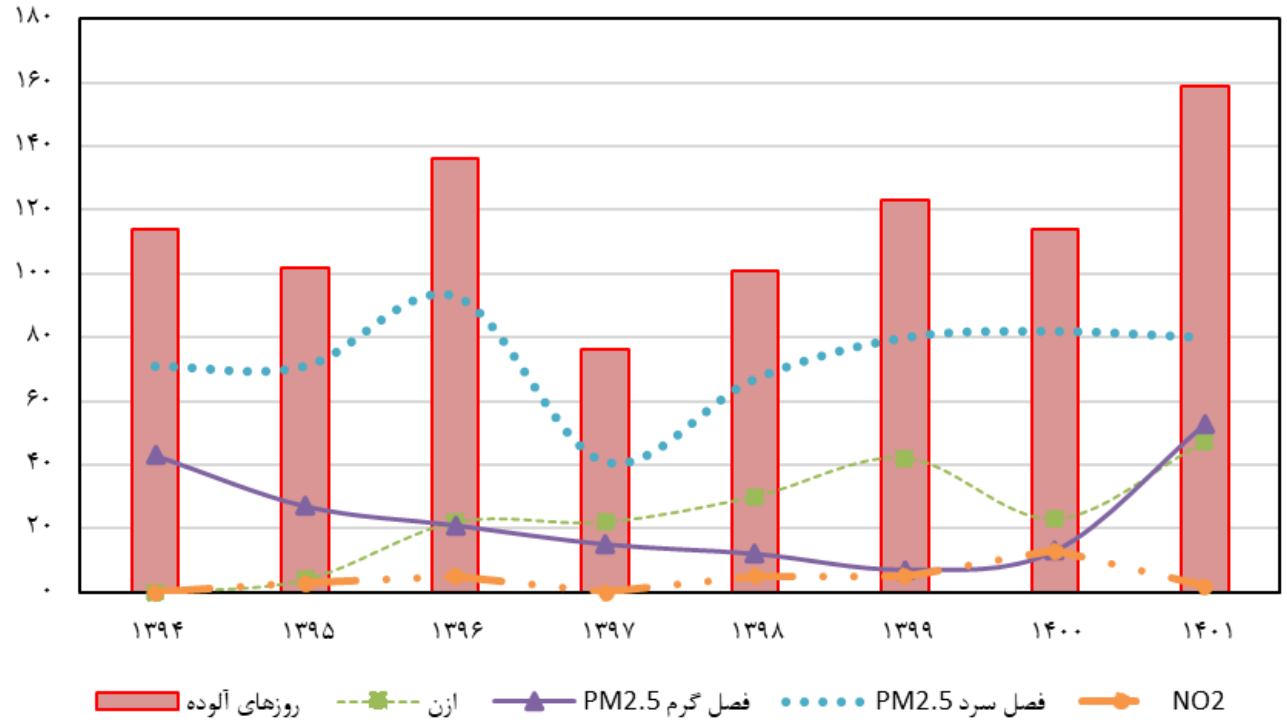
شکل ۳ روند تعداد روزهای آلوده[1] در شهر تهران طی سالیان اخیر را نشان می‌دهد. این شکل بیانگر نکاتی است که در ادامه به آنها می‌پردازیم. نکته اول درخصوص نوسانات کیفیت هوای تهران است. با وجود نوسانات در کیفیت هوا، تا سال ۱۳۹۷ وضعیت آلودگی هوای شهر تهران رو به بهبود قرار داشته است اما روند فوق طی سالیان اخیر متوقف شده است؛ چنان که در سال ۱۴۰۱ رشد محسوسی در تعداد روزهای آلوده در فصل گرم (۷۹ روز) رخ داده است.

با دقت در اطلاعات، مشاهده می‌شود که سال ۱۳۹۷ به‌طور معنی‌داری کیفیت هوای بهتری را نشان می‌دهد به گونه‌ای که تعداد روزهای آلوده در این سال صرفاً ۵۹ روز بوده است که این موضوع را می‌توان به آمار بارش باران بیشتر در این دوره نسبت داد.

مورد بعدی درخصوص عامل اصلی آلودگی است. طی دهه اخیر عامل اصلی آلودگی در شهر تهران به آلاینده $PM_{2.5}$ نسبت داده می‌شد، ولی از سال ۱۳۹۶ شرایط تغییر کرده و آلاینده ازن به یکی از عوامل آلودگی هوای شهر تهران در فصل گرم تبدیل شده است؛ به گونه‌ای که در فصل گرم سال ۱۴۰۱ بیش از ۵۰٪ روزهای آلوده شهر تهران به این آلاینده نسبت داده شده است. همچنین بایستی اشاره کرد که به‌جز سال ۱۴۰۱ تعداد روزهای آلوده در فصل سرد به‌طور محسوسی بیشتر از فصل گرم بوده است.

۱. منظور از روزهای آلوده روزهایی بوده است که شاخص آلودگی هوا بالاتر از ۱۰۰ قرار داشته است.

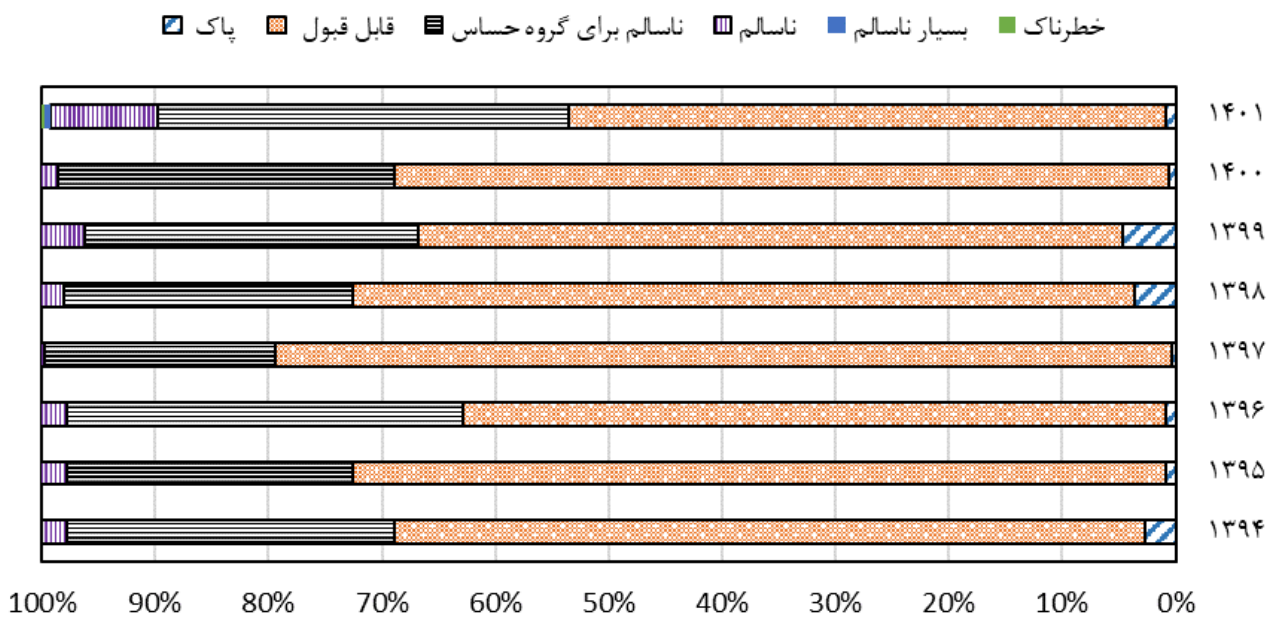
شکل ۳. تعداد روزهای آلوده در شهر تهران طی دهه اخیر [۵]




شکل ۴ تعداد وضعیت شاخص کیفیت هوا را براساس درصد طی سالیان اخیر در شهر تهران ارائه می‌کند. این شکل بیانگر نکات زیر است:

- تعداد روزهای ناسالم در شهر تهران در سال ۱۴۰۱، ۳۴ روز بوده است که به‌طور محسوسی بیشتر از سالیان گذشته است.
- همان‌گونه که پیش از این ذکر شد در سال ۱۳۹۷ به‌طور معنی‌داری تهران هوای مطلوب‌تری را تجربه کرد به‌گونه‌ای که هیچ روز ناسالمی در این سال ثبت نشد که علت اصلی این موضوع را شاید بتوان آمار بارش بیشتر در این سال دانست.
- در بازه سال‌های ۱۳۹۵ تا ۱۴۰۰ شاخص روزانه آلودگی هوا در هیچ روزی فراتر از ۲۰۰ ثبت نشده اســت، با این وجود در سال ۱۴۰۱ شهر تهران دو روز بسیار ناسالم را تجربه کرد.
- هرچند طی سالیان اخیر شــاخص روزانه آلودگی هوا در هیچ روزی فراتر از ۳۰۰ را ثبت نکرده اســت، در سال ۱۴۰۱ شــهر تهران دو روز خطرناک را تجربه کرده است. آلاینده اصلی در این دو روز آلاینده $PM_{10}$ بوده است. گفتنی است این پدیده در سال گذشته در بسیاری از مناطق کشــور رخ داد که علت آن را به کانون‌های گردوغبار با منشأ خارجی نسبت می‌دهند.

شکل ۴.شاخص کیفیت هوای شهر تهران در سالیان اخیر (درصد) [۵]

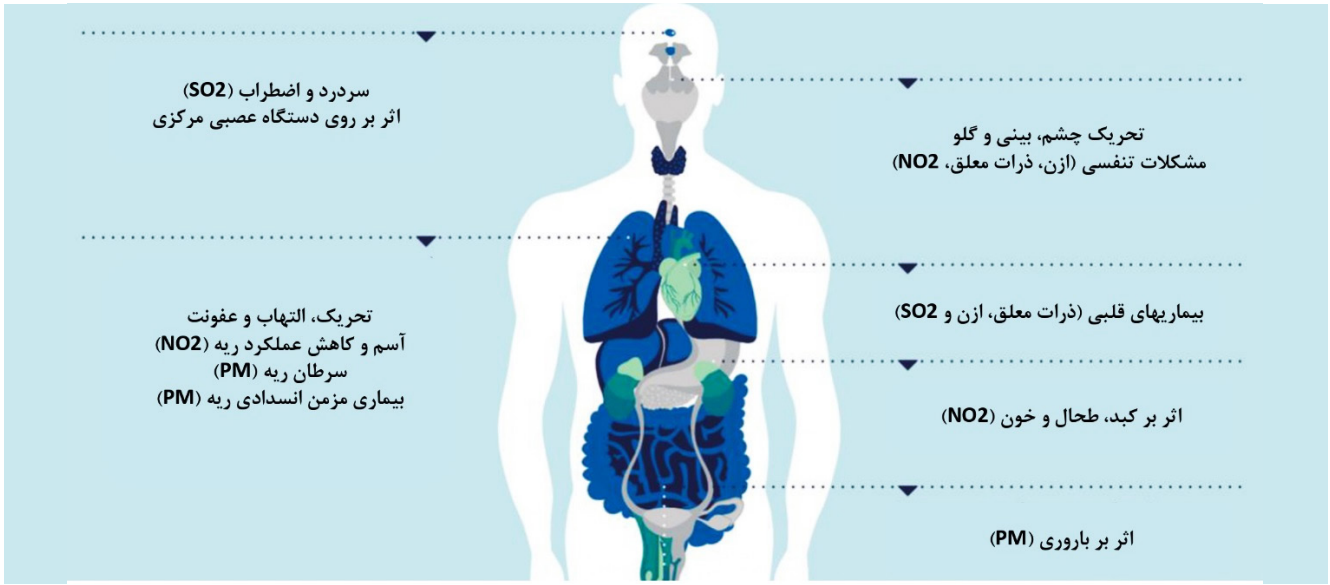



## ۲. پیامدهای آلودگی هوا

### ۲-۱. پیامدهای آلودگی هوا بر سلامت انسانی

آلودگی هوا ارتباط مستقیم با سلامت جامعه دارد و می‌تواند آسیب‌های جبران‌ناپذیر به‌ویژه برای ساکنان شهرهای پرجمعیت ایجاد کند. آلودگی هوا پس از استعمال دخانیات، دومین عامل اصلی مرگ‌های ناشی از بیماری‌های غیرواگیر محسوب می‌شود و با افزایش ریسک ابتلا به بیماری‌های حاد و مزمن و مرگ در ارتباط است. بنا بر ماده (۲۳) آیین‌نامه فنی ماده (۲) قانون هوای پاک وزارت بهداشت، درمان و آموزش پزشکی موظف است برآورد سالیانه تخمین هزینه‌های مستقیم آلودگی هوا در خصوص بیماری‌ها و مرگ‌ومیرهای منتسب به آلودگی هوا را به تفکیک آلاینده‌های معیار و شهرهای دارای اولویت کشور منتشر کند.

شکل ۵.شماتیک پیامدهای آلودگی هوا بر سلامت [۶]



در گزارشی که وزارت بهداشت، درمان و آموزش پزشکی با همکاری مرکز تحقیقات کیفیت هوا و تغییر اقلیم دانشگاه علوم پزشکی شهید بهشتی در سال ۱۴۰۰ تهیه کرده میانگین تعداد مرگ کل منتسب به مواجهه طولانی‌مدت با ذرات معلق $PM_{2.5}$ در بزرگسالان بالاتر از ۳۰ سال در شهرهای مورد مطالعه در کشور طی سال ۱۴۰۰، ۲۰۸۳۷ نفر است. نتایج نشان می‌دهد، در سال ۱۴۰۰ به‌طور میانگین جزء مرگ کل منتسب به ذرات معلق در کشور برابر با ۱۲/۵۹ درصد است. براساس این گزارش تعداد مرگ‌ومیر کل (همه علل) در بزرگسالان بالاتر از ۳۰ سال منتسب به آلاینده $PM_{2.5}$ طی سال ۱۴۰۰ در شهر تهران به‌طور میانگین ۶۳۹۸ نفر با حد پایین و بالا به‌ترتیب برابر ۴۲۸۳ و ۸۲۷۴ نفر است [۷].

کل هزینه‌های مرتبط با مرگ‌ومیر ناشی از همه علل منتسب به $PM_{2.5}$ در کشور طی سال ۱۴۰۰ برابر ۱۱/۳ میلیارد دلار برآورد شده است. مجموع هزینه اقتصادی مرگ‌های ناشی از مواجهه با ذرات معلق در سال ۱۴۰۰ در شهر تهران به‌طور میانگین برابر با ۳۴۰۰/۶۷ میلیون دلار (سه‌میلیارد و چهارصد میلیون دلار) است. نکته کلیدی این میزان خسارت بالا، آن است که درصورتی‌که این مبلغ به‌جای هزینه‌کرد برای درمان و خسارت‌های وارده، در جهت جلوگیری از انتشار آلاینده‌ها استفاده شود، علاوه بر کنترل پیامدهای مرگ و بیماری منتسب، به بهبود کیفیت زندگی به‌شکل پایدار و اصولی منجر خواهد شد [۷].

**جدول ۳. برآورد تعداد مرگ‌های منتسب به $PM_{2.5}$ شهر تهران در سال ۱۴۰۰ [۷]**

| پیامد بهداشتی | تعداد میانگین |
|---|---|
| مرگ کل | ۶۳۹۸ |
| مرگ به‌علت بیماری‌های انسداد ریوی | ۱۲۰ |
| مرگ به‌علت سرطان | ۱۶۱ |
| مرگ به‌علت بیماری‌های ایسکمیک قلبی | ۱۳۲۲ |
| مرگ به‌علت سکته مغزی | ۶۶۶ |

با توجه به نتایج گزارش‌های کمی‌سازی منتشر شده وزارت بهداشت، درمان و آموزش پزشکی در سال‌های ۱۳۹۵، ۱۳۹۶، ۱۳۹۷، ۱۳۹۸، ۱۳۹۹ و ۱۴۰۰ به‌ترتیب به‌طور میانگین ۱۳۳۲۱، ۱۱۰۹۳، ۱۰۲۳۵، ۹۹۰۵، ۱۱۱۲۹ و ۲۰۸۳۷ نفر مرگ کل (همه علل) منتسب به مواجهه طولانی‌مدت با ذرات معلق $PM_{2.5}$ در ۲۷ شهر کشور با جمعیت تقریبی ۳۵ میلیون نفر است. با توجه به کاهش غلظت ذرات معلق طی سال‌های ۱۳۹۵ تا ۱۳۹۸ تعداد مرگ‌های منتسب نیز کاهش یافته است. اما این روند در سال ۱۳۹۹ متوقف و افزایشی شده است. تعداد مرگ کل (همه علل) منتسب به مواجهه طولانی‌مدت با ذرات معلق $PM_{2.5}$ در سال ۱۴۰۰ بیش از ۸۷ درصد نسبت به سال ۱۳۹۹ افزایش یافته است [۷].

### ۲-۲. دیگر پیامدهای آلودگی هوا

عمده تأثیر منفی و خسارات ناشی از آلودگی هوا، بر سلامت و به‌دلیل مرگ‌ومیرها و بیماری‌های منتسب به آلودگی است؛ اما آثار منفی دیگری از جمله موارد زیر نیز از تأثیر و تبعات منفی این پدیده است:

تعطیلی مدارس، ادارات، کسب‌وکارها و صنایع،

کاهش اعتماد به دولت و نظام،

افسردگی و کاهش تحرکات و پویایی جامعه،

مهاجرت نخبگان،

کاهش کیفیت زندگی،

خسارت به مردم از منظر سلامت روحی و روانی.

## ۳. سیاهه انتشار منابع آلاینده هوا

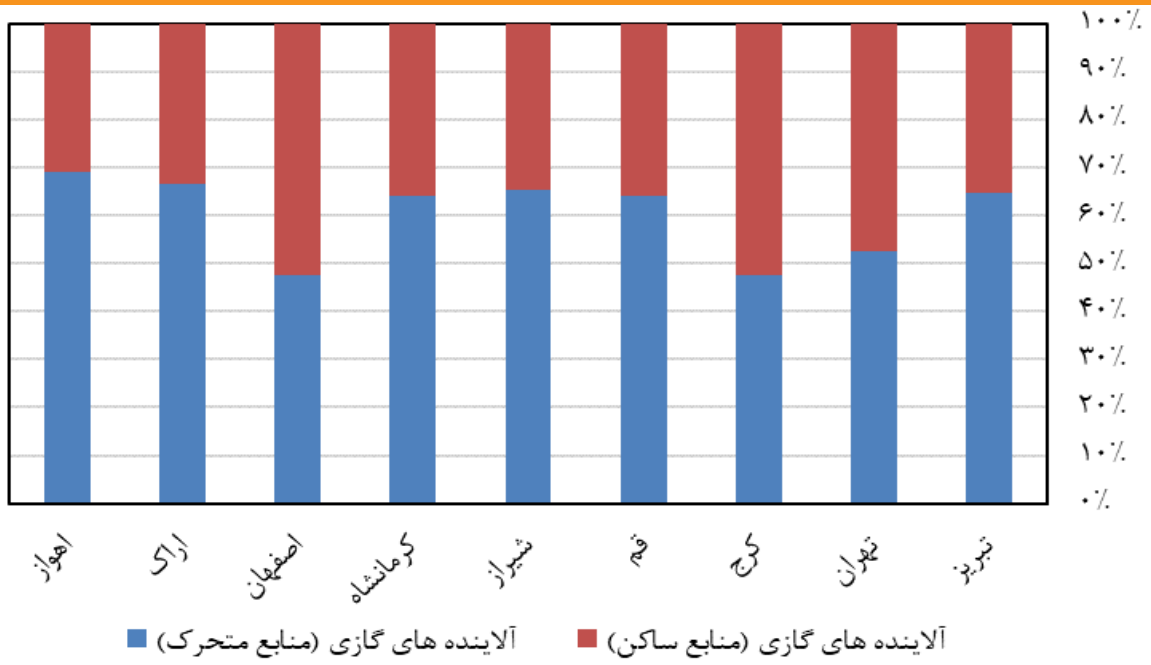
انتشار آلاینده‌هایی که انسان پدید می‌آورد به دو دسته ساکن و متحرک تقسیم می‌شوند. منابع متحرک، وسایل نقلیه یعنی خودروهای سواری شخصی، تاکسی‌ها، موتورسیکلت‌ها، مینی‌بوس‌ها، اتوبوس‌های سرویس و شرکت واحد، و خودروهای باری سبک و سنگین را شامل می‌شود.

منابع ثابت نیز به پنج دسته اصلی شامل صنایع، خانگی و تجاری، تبدیل انرژی (نیروگاه و پالایشگاه)، پایانه‌های مسافربری (فرودگاه مهرآباد، ایستگاه راه‌آهن و پایانه‌های اتوبوس درون‌شهری) و جایگاه‌های عرضه سوخت (بنزین)، تقسیم می‌شوند.

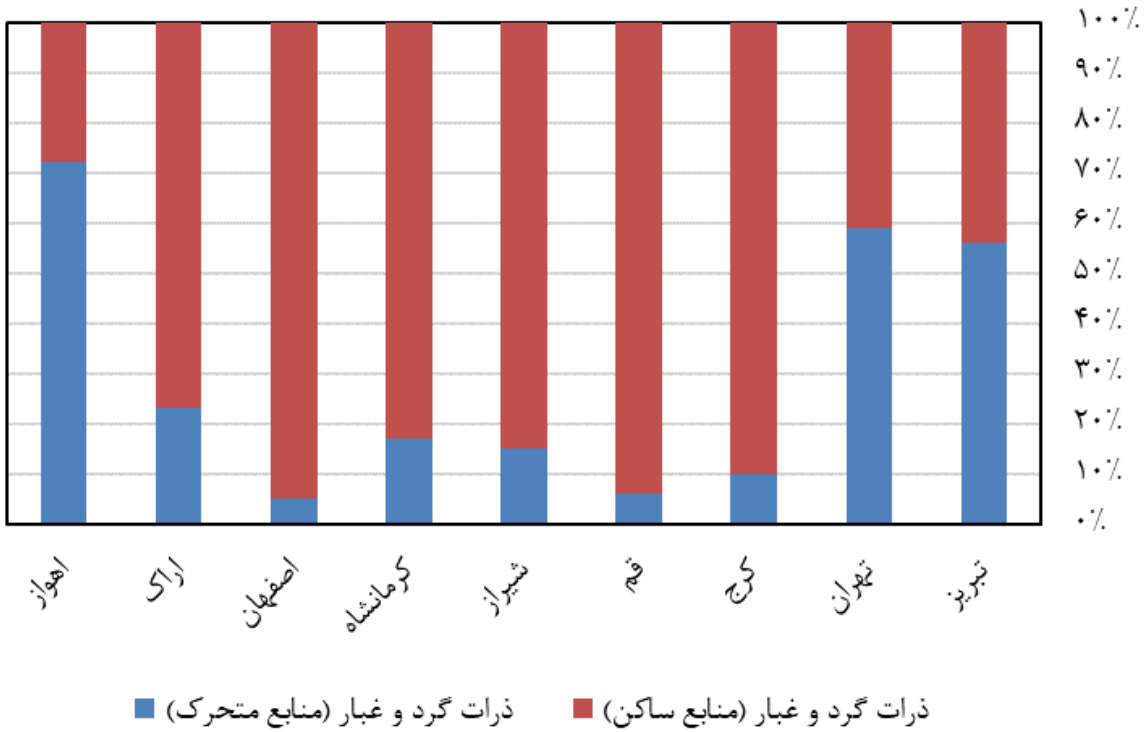
گزارش مدیریتی فهرست انتشار آلاینده‌های هوای کلان‌شهرهای کشور که سازمان حفاظت محیط زیست تهیه کرده، سیاهه انتشار آلاینده‌های مختلف گازی و ذرات معلق را محاسبه کرده است. شکل ۶ درصد آلاینده‌های گازی از منابع متحرک و منابع ساکن را در ۹ کلان‌شهر کشور ارائه کرده است. همان‌گونه که مشخص است درصد

آلاینده‌های گازی از منابع متحرک از ۴۸٪ در شهر کرج تا ۶۹٪ در شهر اهواز متغیر بوده است. همچنین شکل ۷ ذرات معلق در منابع متحرک و منابع ساکن را در ۹ کلان‌شهر ارائه کرده است. همان‌گونه که مشخص اســت درخصوص آلاینده‌های گازی اغلب کلان‌شهرهای کشور به‌جز شــهر کرج و اصفهان منابع متحرک نقش مهم‌تری دارند. درخصوص انتشار ذرات معلق در سه کلان‌شهر تبریز، تهران و اهواز منابع متحرک نقش مهم‌تری دارند درحالی‌که در بقیه کلان‌شهرها منابع ساکن نقش کلیدی را ایفا می‌کنند.

شکل ۶. درصد انتشار آلاینده‌های گازی منابع متحرک و ساکن در ۹ کلان‌شهر کشور (سال ۱۳۹۶) [۸]



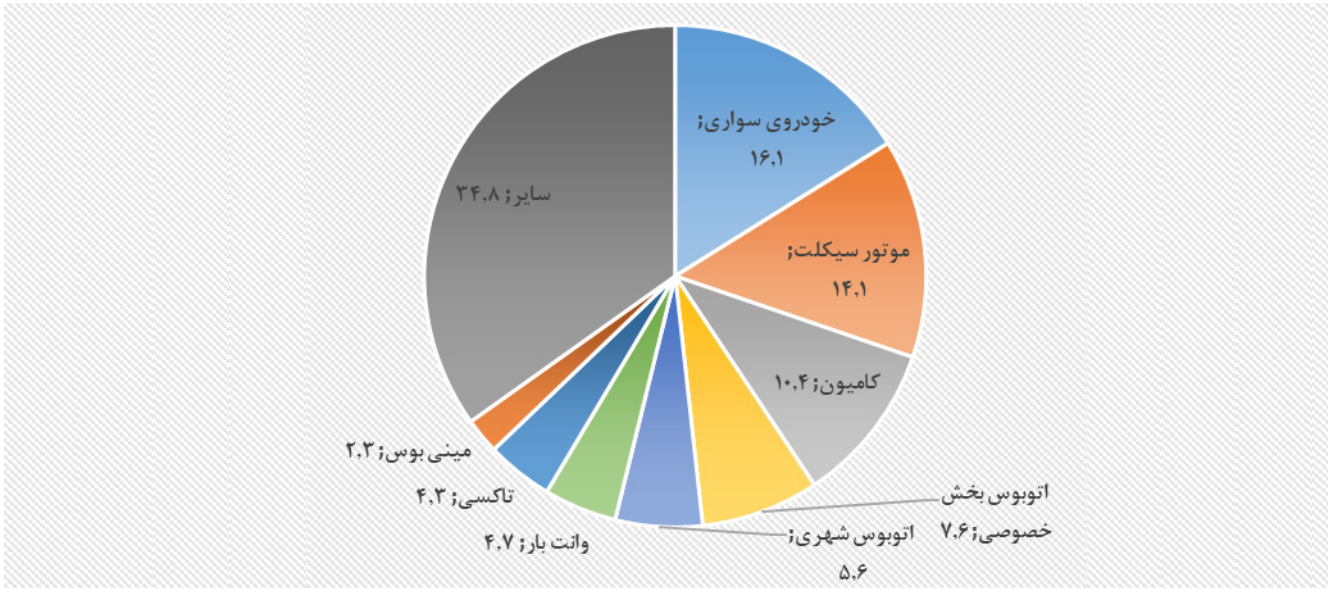

شکل ۷. درصد انتشار ذرات معلق منابع متحرک و ساکن در ۹ کلان‌شهر کشور (سال ۱۳۹۶) [۸]



مطالعات سیاهه انتشار انجام شده در کلان‌شـــهرهای کشور یک قدم مثبت در جهت پایش، تحلیل و مدیریت آلودگی هوا محســـوب شده و مرجع بسیار مناسبی برای مطالعات دیگر و رسیدن به نتایج درست‌تر خواهد بود. البته باید توجه داشت که در مطالعات سیاهه انتشار جهت تعیین منابع تولیدکننده آلاینده تنها منابع انسان‌ساخت (مصنوعی) در نظر گرفته شده و برای منابع طبیعی مثل گردوغبار سهمی در نظر گرفته نشده است. علاوه بر این، ذرات معلق ثانویه که براساس مطالعات مختلف نقشی کلیدی در آلودگی هوا دارند در نظر گرفته نشده است. این موارد موجب می‌شود که نتایج حاصله از مطالعات سیاهه انتشار مورد تردید قرار گیرند.

جهت تدقیق و تصحیح مطالعات ســـیاهه انتشـــار در کشور می‌توان از مطالعات منشأیابی اســـتفاده کرد. به‌طور مثال در شـــهر تهران، طی سال‌های اخیر مطالعاتی برای منشأیابی آلودگی هوای شهر تهران انجام شده‌اند که از آن جمله می‌توان به مطالعه تقوایی و هم‌کاران ۲۰۱۸ [۹] و ارحامی و هم‌کاران ۲۰۱۸ [۱۰] اشاره کرد. نتایج این دو مطالعه به‌دلیل در نظر گرفتن ذرات معلق ثانویه و ذرات با منشـــأ طبیعی، کامل‌کننده گزارش سیاهه انتشار اســـت. شکل ۸ نشـــان می‌دهد که خودروهای سواری بیشترین نقش را در انتشار $PM_{2.5}$ با سهمی حدود ۱۶٪ به خود اختصاص می‌دهند. همچنین موتورسیکلت‌ها با سهم ۱۴٪ در انتشار $PM_{2.5}$ نشان می‌دهند که از اهمیت بالایی در سهم‌بندی برخوردارند. کامیون و اتوبوس‌ها در مرحله بعد با مجموع سهم حدود ۲۴٪ لازم است مورد توجه بیشتری نسبت به مابقی وسایل نقلیه قرار گیرند.

شکل ۸. سهم وسایل نقلیه در انتشار ذرات معلق در حالت ترکیبی (درصد) [۱۱]




## ۴. منابع ساکن آلاینده هوا

### ۴-۱. آلایندگی نیروگاه‌ها و صنایع

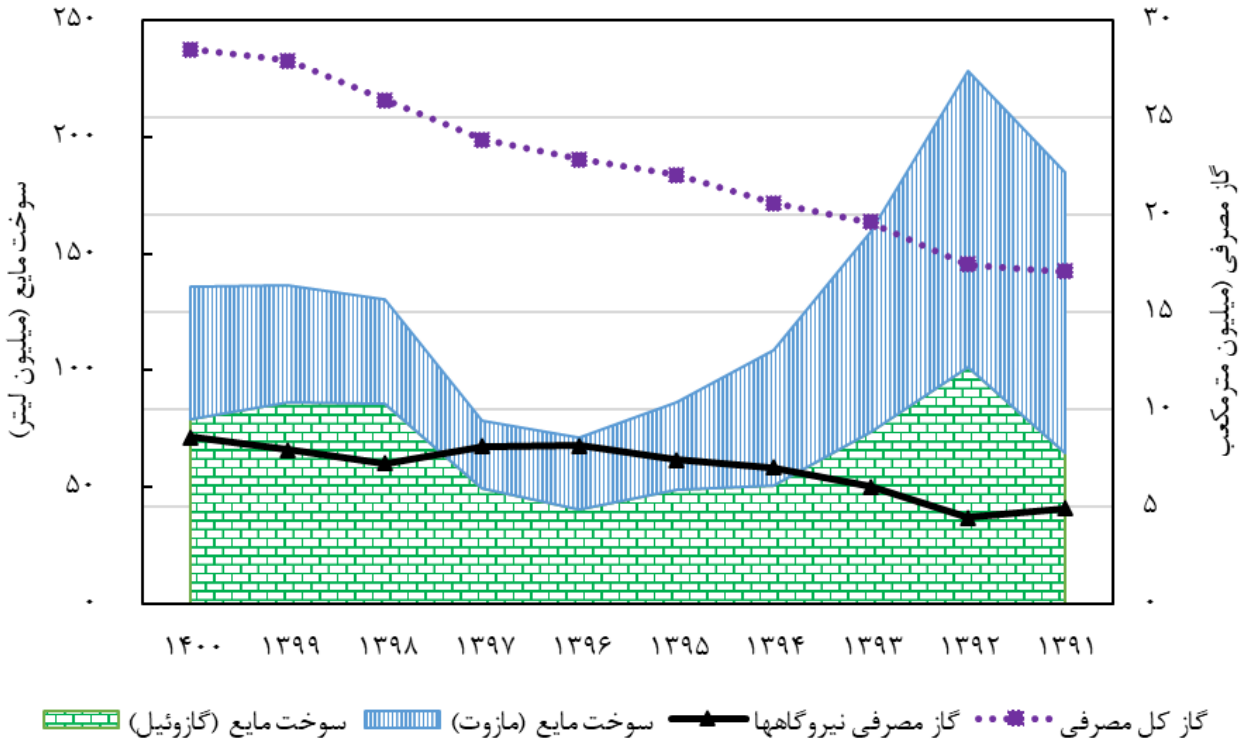
نیروگاه‌های حرارتی، تولیدکننده بخش عمده‌ای از نیاز مصرف برق در کشور هستند. تا پایان سال ۱۴۰۱ مجموع ظرفیت نیروگاهی در کشور به بیش از ۹۰ هزار مگاوات رسید و این در حالی است که ۷۴ هزار مگاوات از این میزان را نیروگاه‌های حرارتی تولیـــد می‌کنند و نقش حیاتی در برنامه‌های عبور از اوج مصرف تابســـتان دارند [۱۲]. اما یکی از مسائل مهم در بهره‌برداری از نیروگاه‌های حرارتی تأمین سوخت آنهاست. این نیروگاه‌ها از گاز به‌عنوان سوخت اول و از سوخت مایع به‌عنوان سوخت جایگزین استفاده می‌کنند. در زمســـتان با وجود افزایش تقاضایی که در بخش مصرف خانگی گاز اتفاق می‌افتد، بهره‌برداری از نیروگاه‌ها با سوخت گاز به مشکل برخورده و برای جلوگیری از تبعات خاموشی، از سوخت جایگزین استفاده می‌شود. به‌طور میانگین شاید بتوان گفت در فصل زمستان سهم گاز از سبد سوختی نیروگاه‌ها حدود ۴۰ درصد است و ۶۰ درصد بقیه از گازوئیل و مازوت تأمین می‌شود. اما در تابستان که گاز در بخش خانگی مصرف کمتری دارد، فرصت برای بهره‌برداری بیشتر نیروگاه‌ها با سوخت گاز مهیا می‌شود تا درمجموع سالیانه سهم سوخت گاز از سبد سوختی به گازوئیل و مازوت پیشی بگیرد.

طی سالیان اخیر افزایش معنادار مصرف گاز در بخش خانگی و تجاری در فصل ســـرد ســـال، موجب محدودیت عرضه گاز در نیروگاه‌ها شده است که در ســـال ۱۳۹۹، ۵ هزار مگاوات کمبود برق را در فصل سرد سال به‌همراه داشته است. با توجه به این محدودیت، نیروگاه‌های برق کشور معمولاً به مصرف سوخت‌های مایع جایگزین مازوت و گازوئیل

روی می‌آورند که به‌دلیل کیفیت نامناسب، آلودگی هوای کلان‌شهرها را تشـــدید می‌کند. در نیروگاه‌های گازی، ســـوخت دوم گازوئیل و در نیروگاه‌های بخاری سوخت جایگزین گازوئیل و مازوت است که به‌دلیل قیمت پایین مازوت، تمایل زیادی برای مصرف مازوت در نیروگاه‌های بخاری وجود دارد. براساس سیاهه انتشار شـــهر تهران در سال مبنای ۱۳۹۶، سهم نیروگاه‌ها و صنایع مستقر در تهران در ذرات معلق تولیدی در شهر تهران به‌ترتیب ۱۲/۱% و ۱۷/۸% بوده که بیانگر اهمیت کیفیت سوخت مصرفی در نیروگاه‌ها و صنایع مستقر در تهران است.

شکل ۹ ســـوخت‌های مصرفی در نیروگاه‌های کشور و گاز کل مصرفی را در کشور طی دهه اخیر نشان می‌دهد. از ســـال ۱۳۹۶ تا ۱۴۰۰ گاز کل مصرفی در کشـــور بیش از ۲۴% افزایش یافته است. این در حالی است که به‌دلیل افزایش تقاضا در بخش خانگی و تجاری و محدودیت عرضه، گاز مصرفی نیروگاه‌ها از سال ۱۳۹۶ کنترل شده است. درنتیجه نیروگاه‌ها به سوخت‌های مایع روی آورده‌اند که درمجموع رشد ۹۱% مصرف ســـوخت‌های مایع (مازوت و گازوئیل) طی ســـال‌های اخیر را به‌همراه داشته است. اگر نیروگاه‌های کشـــور بخواهند با همه ظرفیت خود کار کنند سوختی حداقل معادل ۱۹۰ میلیون مترمکعب گاز در روز نیاز دارند. این در حالی است که در زمستان سال ۱۳۹۹ گاز تحویلی به نیروگاه‌ها به زیر ۷۰ میلیون مترمکعب در روز رسید که به‌ناچار مابقی سوخت مصرفی از سوخت‌های مایع جایگزین تأمین شده است.

**شکل ۹. سوخت‌های مختلف مصرفی در نیروگاه‌های کشور در دهه اخیر [۱۳]**




هم‌زمانی مصرف ســـوخت‌های جایگزین در فصول سرد در نیروگاه‌ها و صنایع با افزایش آلاینده‌های هوا در شـــهر تهران موجب شـــده که برخی کارشناســـان یکی از علل اصلی آلودگی هوای تهران را در فصل سرد، استفاده از همین ســـوخت‌های جایگزین بدانند. مهم‌ترین منبع ایجاد آلاینده‌های هوا از نظر کمی و کـیفـــی در نیروگاه‌های حرارتی، چرخه ترکیبی فرایند احتراق ســـوخت اســـت. آلاینده اصلی ناشی از احتراق گاز، NOx اســـت اما در اثر احتراق گازوئیل و مازوت، علاوه بر NOx، دی‌اکسید گوگرد ($SO_2$) نیز تولید می‌شود که بخشی از این آلاینده‌ها براثر فعل‌وانفعالات موجود در هوا تغییر فاز می‌دهند و به ذرات معلق تبدیل می‌شـــوند. با توجه به عدم به‌کارگیری تجهیزات کنترلی، ســـوخت‌های مایع جایگزین محتوای گوگرد بالایی هستند به‌گونه‌ای که گازوئیل تحویلی به نیروگاه‌ها حاوی حداقل ۵۰۰۰ ppm و مازوت حاوی ۳۰۰۰۰ تا ۵۰۰۰۰ ppm گوگرد است. علاوه بر این نسبت انتشار آلاینده اکسیدهای گوگرد برای ســـوخت مازوت و گازوئیل به‌ترتیب حدود ۱۲۶۸ و ۳۳۶ برابر و نسبت انتشار ذرات معلق مازوت و گازوئیل حدود ۱۱ برابر است. این مسئله نشـــان می‌دهد مصرف هر دو سوخت گازوئیل و مازوت به‌جای گاز، تأثیر بسیار بالایی در سطح آلاینده‌های تولیدی نیروگاه‌ها و کیفیت هوا خواهد داشت [۱۳].

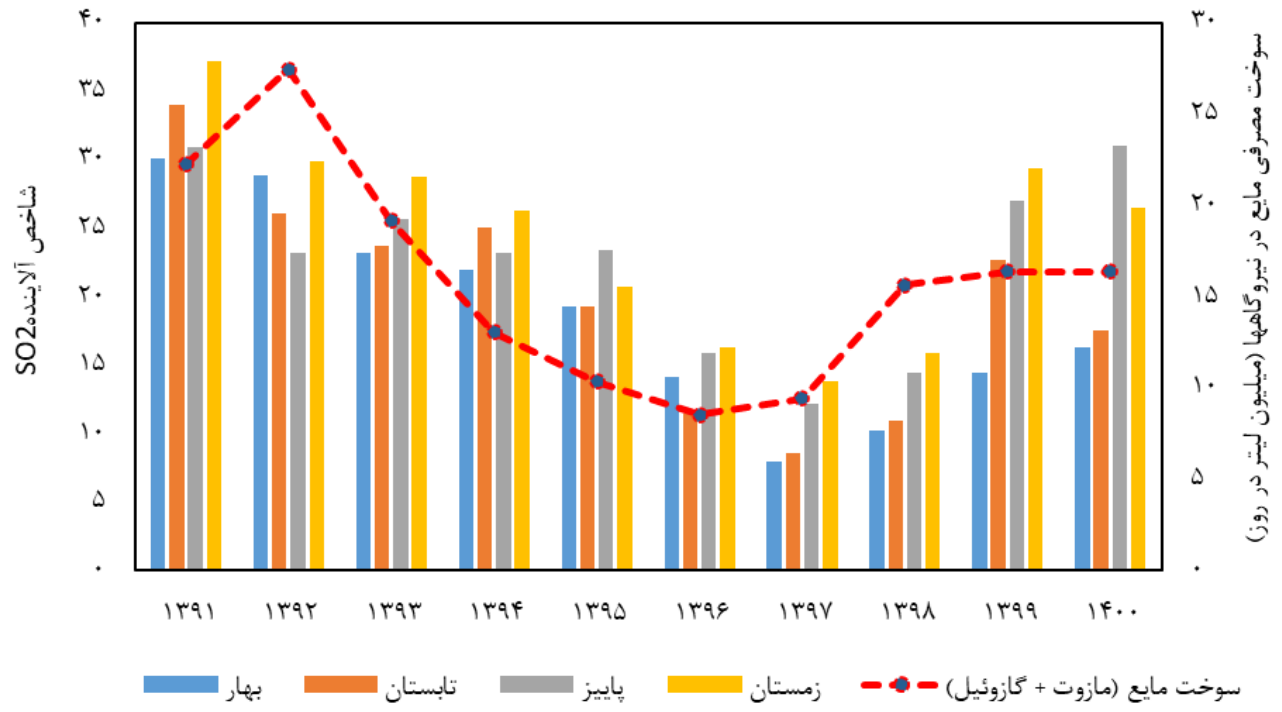
جدول ۴. ضریب انتشار سوخت‌ها اعم از گازوئیل، نفت کوره و گاز طبیعی [۱۳]

| نوع سوخت | ضریب انتشار (گرم بر گیگا ژول) | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| | $SO_x$ | $NO_x$ | CO | HC | PM |
| گازوئیل | ۳۳۶/۰ | ۲/۲ | ۱/۹ | ۹/۰ | ۱۰/۸ |
| نفت کوره (مازوت) | ۱۲۶۸/۰ | ۲/۴ | ۱/۷ | ۹/۰ | ۱۱/۲ |
| گاز طبیعی | ۱ | ۱ | ۱ | ۱ | ۱ |

سوخت‌های دیزل و مازوت در مقایسه با گاز حدود ۱۱ برابر انتشار ذرات بیشتری دارند!

شکل ۱۰ میزان مجموع سوخت مصرفی مایع (مازوت و گازوئیل) در نیروگاه‌ها و شاخص آلاینده $SO_2$ طی دهه اخیر را نشان می‌دهد. مطابق شکل طی چهار سال اخیر روند مصرف سوخت‌های مایع افزایش محسوسی در نیروگاه‌ها داشته است. متعاقباً شاخص میانگین آلاینده $SO_2$ در این سال‌ها رشد چشمگیری یافته است. غلظت‌های اندازه‌گیری شده در شهر تهران در سال ۱۳۹۹ در مقایسه با سال‌های گذشته نشان می‌دهد سطح غلظت آلاینده $SO_2$ در سال ۱۳۹۹ در شهر تهران در حدود ۵۰ تا ۱۰۰ درصد افزایش پیدا کرده است. با توجه به اینکه کیفیت گازوئیل در بخش حمل‌ونقل کشور از سال ۱۳۹۵ تغییر چندانی نداشته، لذا این افزایش آلایندگی از سال ۱۳۹۸ را می‌توان به کیفیت سوخت‌های مصرفی مایع نسبت داد. علاوه بر این اکسیدهای گوگرد تولیدی از مصرف سوخت‌های مازوت و گازوئیل پرگوگرد در اثر فعل‌وانفعالات مختلف تبدیل به ذرات معلق خواهد شد. بنابراین مصرف هر دو سوخت مازوت و دیزل در نیروگاه‌ها به‌صورت مستقیم و غیرمستقیم به افزایش قابل‌ملاحظه غلظت ذرات معلق در هوای شهرها منجر خواهد شد.

شکل ۱۰. میانگین شاخص آلاینده $SO_2$ در فصول چهارگانه شهر تهران و سوخت مایع مصرفی نیروگاه‌های کشور




## ۲-۴. آلایندگی منابع خانگی

عمده آلاینده تولیدی منابع خانگی (و تجاری) ناشی از سوخت مصرفی و عموماً ناشی از مصرف گاز است. طبق داده‌های شرکت گاز استان تهران، میزان مصرف گاز طبیعی در کل سال ۱۳۹۶ در کاربری خانگی، برابر ۹،۳۵۸،۱۴۴،۶۲۷ مترمکعب است. در ماه‌های دی و بهمن، به‌دلیل کمتر بودن متوسط دما نسبت به سایر ماه‌ها، میزان مصرف گاز بیشتر بوده

و درنتیجه، میزان انتشار آلاینده‌ها در این دو ماه به مقدار چشمگیری بیشتر از سایر ماه‌های سال است. از عوامل این موضوع می‌توان به نامناسب بودن الگوی مصرف در کشور اشاره کرد. طبق گزارش‌های شرکت ملی گاز ایران، سالیانه ۳۹,۵ مترمکعب گاز طبیعی به‌ازای هر مترمربع مساحت واحد مسکونی مصرف می‌شود. این در حالی است که این سرانه در کشورهای اروپایی که هوای سردتری نسبت به ایران دارند، برابر با ۵,۵ مترمکعب به‌ازای هر مترمربع واحد مسکونی است.

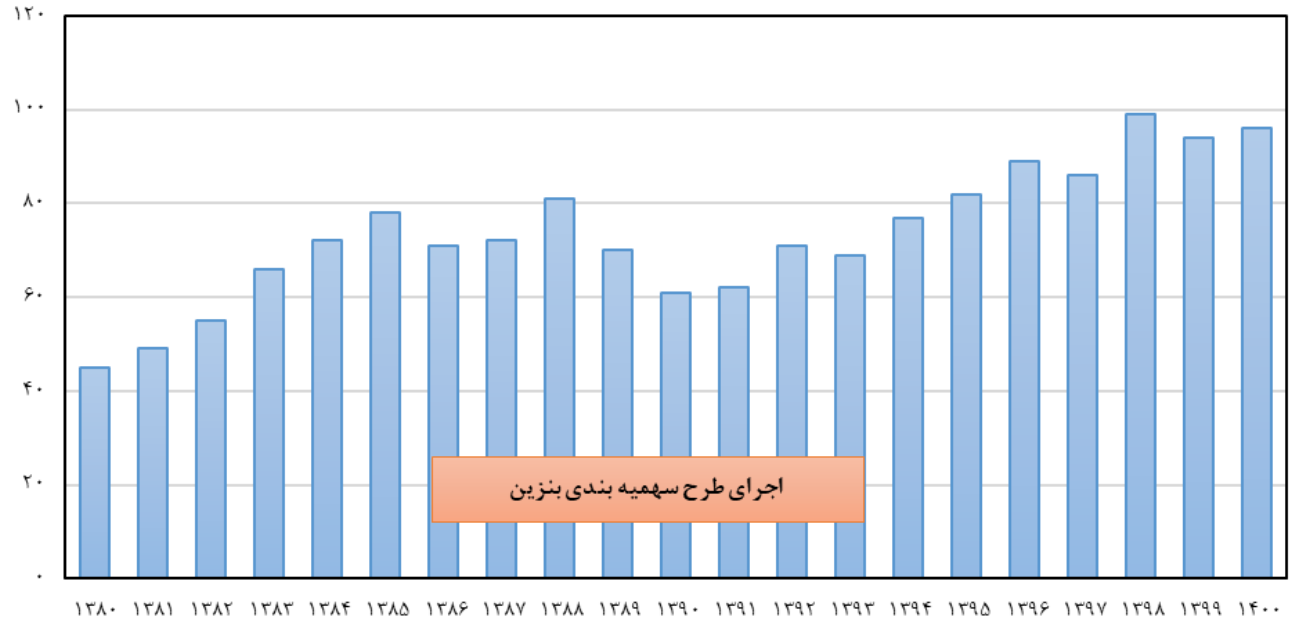
مصرف بیش از معمول گاز در کاربری‌های مسکونی و تجاری، مسئله مهم‌تری را نیز رقم می‌زند. با توجه به اولویت دادن این کاربری‌ها در مصرف گاز، در فصول سرد سال، نیروگاه‌های تولید برق، ناگزیر به استفاده از سوخت‌های مایع بوده و درنتیجه تولید آلودگی هوای نیروگاه‌ها که تقریباً در سراسر کشور پراکنده هستند بسیار بالا رفته و هم‌زمان شدن این موضوع با پدیده وارونگی دما و کاهش عمق لایه مرزی، غلظت آلودگی را در برخی دوره‌های زمانی فصول سرد به‌شدت بالا می‌برد.

### ۳-۴. جایگاه‌های سوخت

براساس سیاهه انتشار ۱۳۹۶ در شهر تهران، حدود ۷۵ درصد از کل انتشار آلاینده ترکیبات آلی فرار در بخش منابع ثابت مربوط به جایگاه‌های عرضه سوخت بوده که معادل حدود ۲۰ درصد از کل انتشار این آلاینده در شهر تهران است (جمع منابع ثابت و متحرک). تناژ انتشار سالیانه این آلاینده از جایگاه‌های توزیع سوخت در شهر تهران برابر ۱۳,۷۳۳ تن در سال است [۷]. انتشار بخارات بنزین از جایگاه‌های عرضه سوخت یکی از مهم‌ترین عوامل آلودگی هواست و این عامل جزو آن دسته از منابع آلاینده هواست که علاوه بر ضرر و زیان ناشی از ایجاد آلودگی هوا، زیان اقتصادی دیگری از منظر اتلاف سوخت در کشور ایجاد می‌کند؛ بنابراین کنترل و جلوگیری از این تبخیر اهمیت دوچندان دارد.

شکل ۱۱ روند مصرف بنزین موتور از سال ۱۳۸۰ تا ۱۴۰۰ را نمایش می‌دهد. در این شکل مشاهده می‌شود که (به‌استثنای سال‌های افزایش قیمت بنزین یا اجرای طرح‌های کنترل مصرف سوخت) میزان مصرف سوخت در کشور افزایش پیدا کرده است. این افزایش به‌صورت طبیعی باعث افزایش انتشار بخار بنزین به هوا نیز می‌شود، چراکه میزان بنزین تبخیر شده به هوای آزاد تابعی از کل بنزین مصرفی در کشور است که بیش‌ازپیش اهمیت اجرای طرح‌های کنترلی برای جلوگیری از انتشار بخار بنزین به هوای آزاد را مشخص می‌کند.

شکل ۱۱. میزان مصرف بنزین موتور در کشور طی سالیان گذشته




در ایران اقدام‌های مربوط به جلوگیری از تبخیر بنزین از سال ۱۳۸۵ و هم‌زمان با پیمان کیوتو شروع و اولین مصوبه در این خصوص در سال ۱۳۸۷ تصویب شد که مطابق آن وزارت نفت مکلف شد طرح کهاب (کاهش، هدایت، انتقال و بازیافت بخار بنزین) را در همه مسیر انبارش تا مصرف بنزین در کشور اجرا کند. بااین‌حال با گذشت بیش از ۱۳ سال از زمان این مصوبه هنوز این طرح به‌صورت کامل در کشور انجام نشده است. از مجموع بیش از ۳۰ انبار سوخت کشور کمتر از ۱۰ عدد از آنها در حال اجرای طرح کهاب هستند. از حدود ۱۲ هزار تانکر حمل سوخت در کشور نیز حدود ۷۰ درصد هنوز به الزامات طرح کهاب مجهز نشده‌اند. در جایگاه‌های توزیع سوخت نیز بخش دوم این طرح که تجهیز نازل‌هاست به‌هیچ‌وجه عملیاتی نشده است [۱۴].

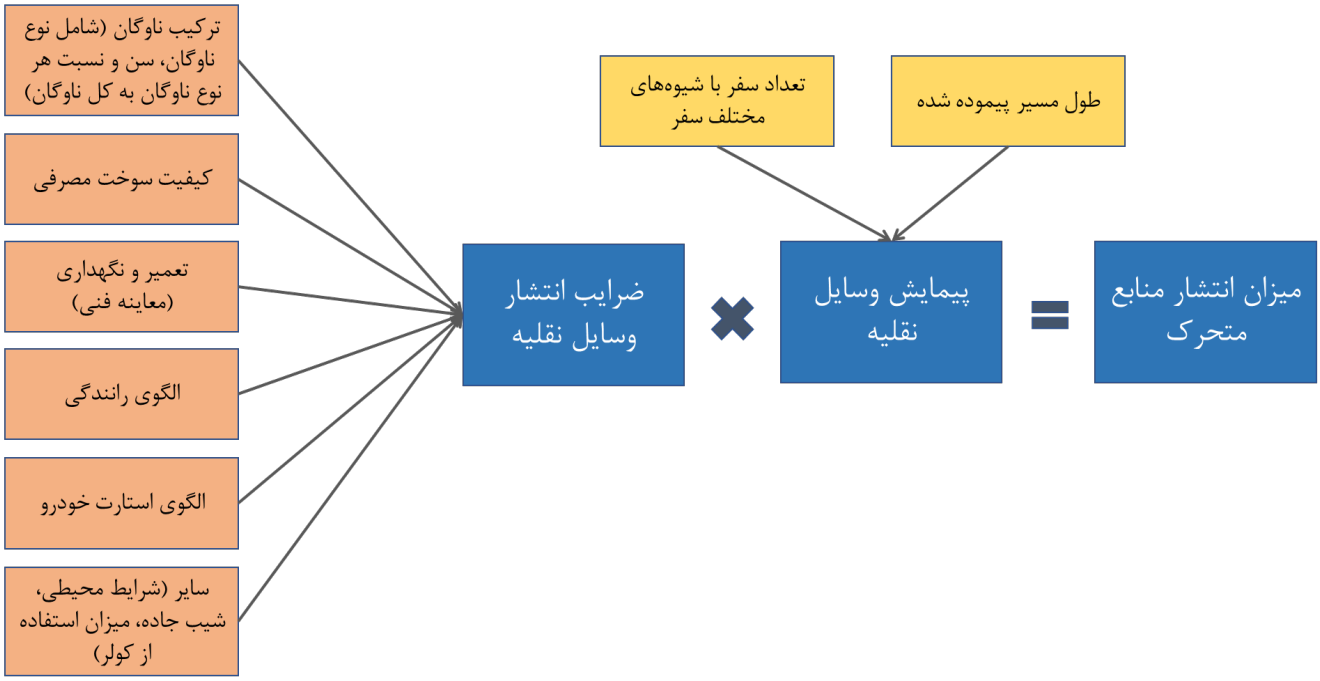
براساس محاسبات صورت گرفته در سال ۱۴۰۰ در صورت اجرای کامل طرح کهاب ۱۶,۶۷۹,۰۴۰ میلیون ریال صرفه‌جویی اقتصادی براساس کاهش هدر

رفتن سوخت در سال در کل کشور به‌دست خواهد آمد که با مقایسه هزینه تکمیل طرح کهاب در کل کشور که برابر ۲۶،۷۸۴،۰۰۰ میلیون ریال است، طول دوره بازگشت سرمایه تکمیل طرح کهاب حدود یک سال و هفت ماه برآورد می‌شود. همچنین براساس محاسبات صورت گرفته درخصوص شهر تهران، اگر فایده ناشـــی از کاهش آلودگی هوا را هم به صرفه‌جویی ناشی از مصرف سوخت اضافه کنیم، اجرای کامل طرح کهاب در جایگاه‌های عرضه سوخت این شـــهر بین ۲،۲۶۸،۸۲۵ تا ۲،۲۶۳،۸۰۰ میلیون ریال عایدی اقتصادی خواهد داشت که در مقایسه با هزینه اجرای آنکه برابر ۸۰۴،۰۰۰ میلیون ریال است، مدت زمان بازگشت ســـرمایه حدوداً چهار ماه برآورد می‌شود [۱۴].

## ۵. منابع متحرک آلاینده هوا

بررسی نتایج مطالعات سیاهه انتشار بیانگر نقش جدی منابع متحرک در آلودگی هوای بسیاری از شهرهای کشور است. منابع متحرک طیف وسیعی از شیوه‌های ریلی، هوایی و زمینی را در شهرها شامل می‌شود. مهم‌ترین منبع از میان موارد یادشده وسایل نقلیه فعال به‌دلیل تعداد و پیمایش قابل‌توجه آنهاست. در شکل ۱۲ متغیرهای مختلفی که در انتشار آلاینده از اگزوز وسایل نقلیه نقش دارند نشان داده شده است. متغیرهای مؤثر در میزان ضرایب انتشار وسایل نقلیه شـــامل نوع ناوگان، کیفیت ســـوخت، نحوه تعمیر و نگهداری وســـایل نقلیه، الگوی رانندگی افراد، الگوی استارت خودروها و سایر موارد همچون دما و رطوبت هوا، شیب راه و میزان استفاده از دستگاه تهویه خودروهاست. شرح هریک از این عوامل و اثرسنجی آنها در میزان ضرایب انتشار آنها از مجال این گزارش خارج بوده و بسته به شرایط هر شهر متفاوت است. با این وجود، درباره برخی از متغیرهای مؤثر همچون وضعیت ناوگان وسایل نقلیه، شیوه رانندگی و معاینه فنی در ادامه توضیحات بیشتری داده خواهد شد.

**شکل ۱۲. نمای کلی از متغیرهای مؤثر بر میزان انتشار اگزوز از وسایل نقلیه**

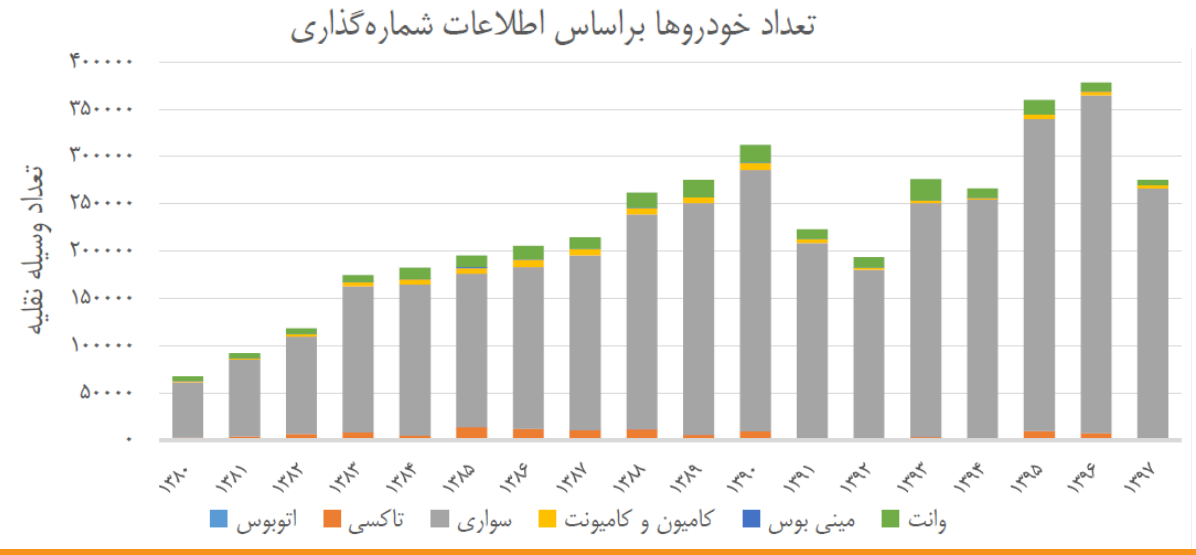



همچنین مطابق شکل ۱۲ تعداد سفر با شیوه‌های مختلف سفر و طول مسیر پیموده شده به‌عنوان عوامل مؤثر بر میزان پیمایش وسایل نقلیه شناخته می‌شود. در ادامه سهم شـــیوه‌های مختلف سفر در کلان‌شهرهای کشور و همچنین سیاست‌های مدیریت تقاضای سفر که موجب کاهش تعداد سفرها و پیمایش می‌شود، مورد بحث قرار خواهد گرفت.

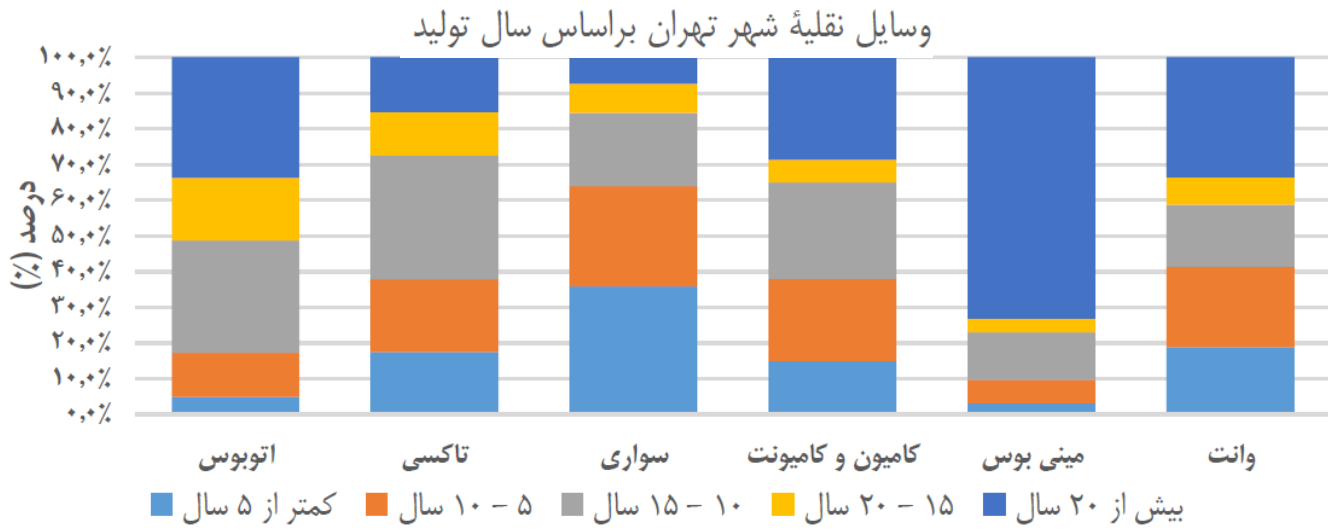
### ۵-۱. کیفیت وسایل نقلیه

تعداد کل خودروها در شهر تهران از ابتدای سال ۱۳۸۰ تا پاییز سال ۱۳۹۷ (که براساس اطلاعات مراکز شماره‌گذاری به‌دست آمده) نشان داده شده اســـت. در یک نمای کلی، وضعیت ناوگان وســـایل نقلیه در حال تردد در شهر تهران را می‌توان براســـاس نتایج خلاصه شده در شکل ۱۲ بیان کرد. همچنین خلاصه وضعیت کلی ناوگان وسایل نقلیه در حال تردد در شهر تهران براساس سال تولید در شکل ۱۳ نشان داده شده است.

شکل ۱۳. تعداد کل خودروهای شهر تهران براساس اطلاعات شماره‌گذاری

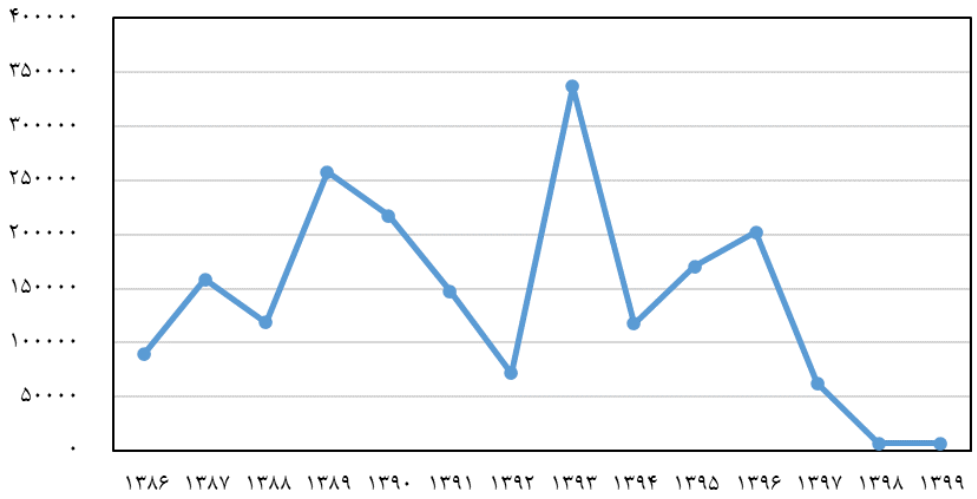



شکل ۱۴. بررسی عمر ناوگان وسایل نقلیه در حال تردد در شهر تهران براساس سال تولید



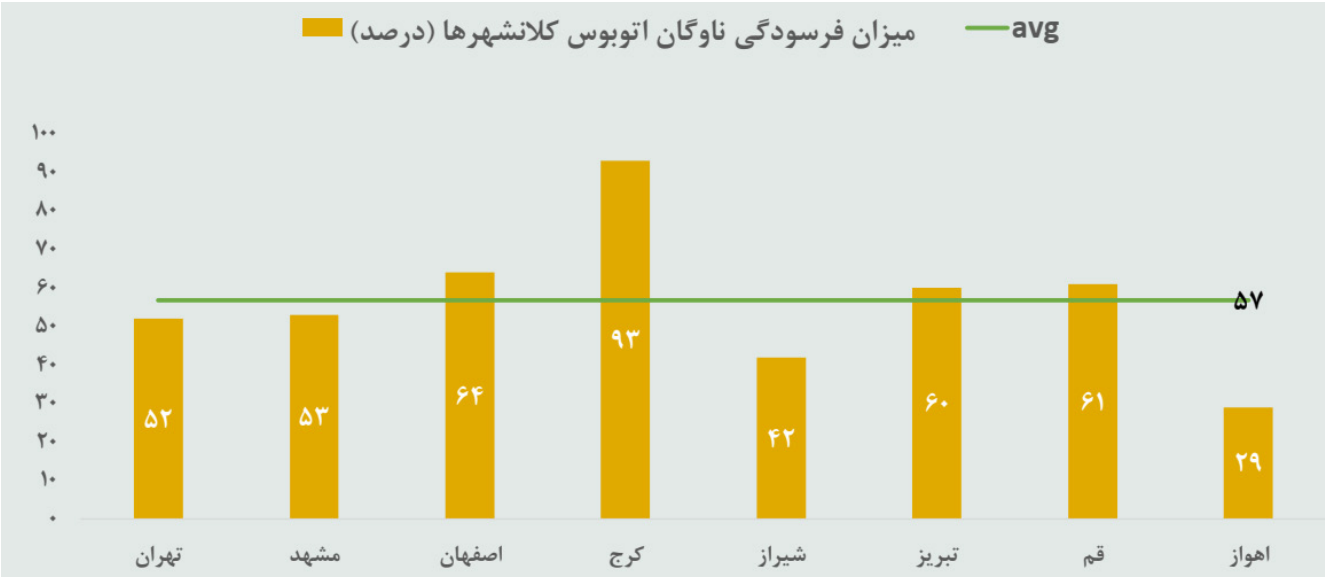

یکی از عوامل اصلی تأثیرگذار بر انتشار آلاینده‌ها از منابع متحرک کیفیت وسایل نقلیه موجود است که ارتباط مستقیم با سن وسایل نقلیه دارد. در سطح ملی براساس گزارش حسابرسی زیست‌محیطی نحوه اجرای قانون هوای پاک دیوان محاسبات کشور، ۱۰،۴۲۹،۵۵۳ وسیله نقلیه در مرز فرسودگی در کشور (سواری دولتی: ۷،۶۶۳، سواری شخصی: ۶۵۰،۰۹۲، تاکسی: ۱۳۱،۸۹۹، وانت: ۵۱۷،۷۲۱، اتوبوس درون‌شهری: ۹،۴۸۷، مینی‌بوس: ۶۵،۶۰۶، کشنده: ۴۴،۸۹۱، کامیون: ۱۸۹،۶۴۹، کامیونت: ۱۵،۶۰۹، موتورسیکلت: ۸،۷۸۲،۲۵۶) وجود دارد؛ که بیانگر تعداد بالای خودروهای فرسوده در کشور است. بررسی تعداد خودروهای اسقاط شده در دهه اخیر در کشور بیانگر فراز و نشیب‌هایی بوده است. تا پیش از سال ۱۳۹۳ ستاد مدیریت حمل‌ونقل و سوخت با اعطای کمک‌های بلاعوض طرح‌های از رده خارج کردن خودروهای فرسوده را اجرا می‌کرد. به‌دلیل عدم منابع مالی از سال ۱۳۹۳ هیئت دولت تصمیم گرفت تا تحت هر شرایطی به‌جای دریافت وجه نقد، گواهی اسقاط را از واردکنندگان طلب کند و این باعث رونق چشمگیری در حوزه صنعت اسقاط شد. این تصمیم رشد چشمگیر بازار عرضه و تقاضای گواهی‌ها نسبت به مدت مشابه سال قبل را به‌همراه داشت، به‌طوری که آمار اسقاط از ۷۱ هزار گواهی در سال ۱۳۹۲ به ۳۳۷ هزار گواهی در سال ۱۳۹۳ افزایش یافت. هرچند دولت در سال ۱۳۹۶ سیاست سخت‌گیرانه‌تری را برای ارائه گواهی اسقاط برای واردکنندگان تکلیف کرد اما معافیت خودروسازان داخلی از گواهی اسقاط از طرفی و ممنوعیت واردات خودرو به‌منظور جلوگیری از خروج ارز از طرف دیگر به کاهش چشمگیر (۷۰%) اسقاط خودرو در سال ۱۳۹۷ منجر شد. این روند کاهشی در سال‌های ۱۳۹۸ و ۱۳۹۹ نیز به‌شدت ادامه پیدا کرد که تعطیلی مراکز بازیافت و اسقاط خودروهای فرسوده را به‌همراه داشته (شکل ۱۴)؛ به‌گونه‌ای که طی سه سال اخیر بیش از ۸۵% این مراکز تعطیل شده‌اند و بقیه این مراکز نیز معمولاً با ۳۰% ظرفیت خودشان مشغول به‌کار هستند [۱۵].

شکل ۱۵. آمار خودروهای از رده خارج شده طی سالیان اخیر

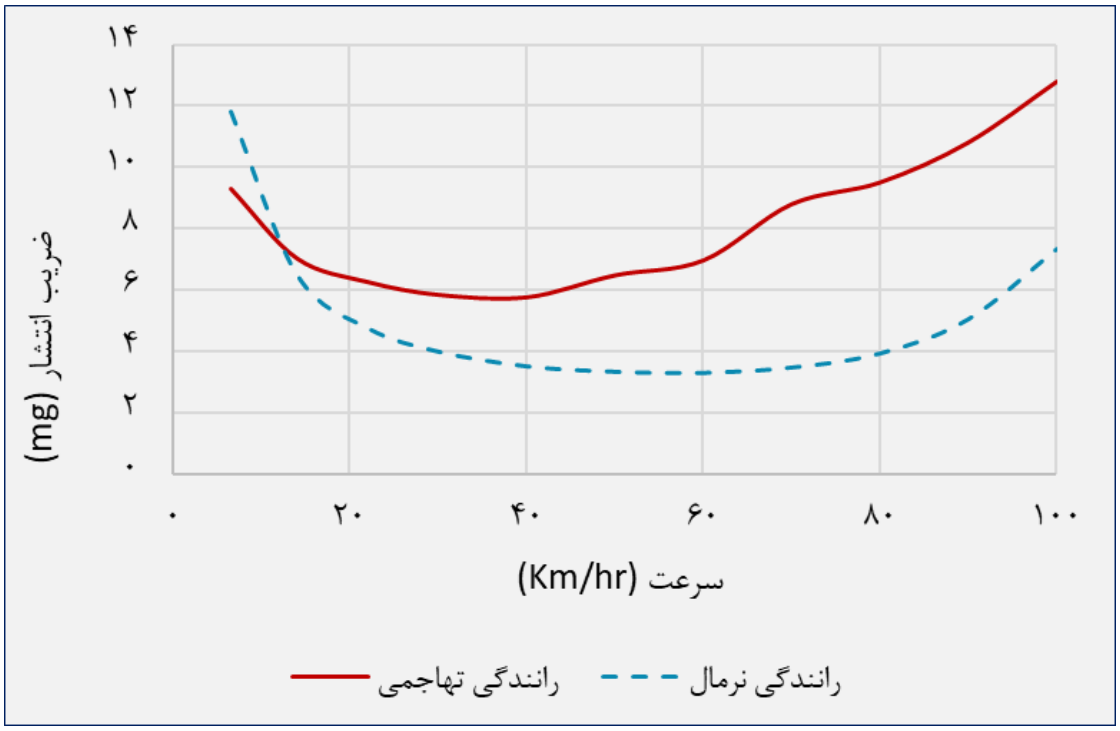



براســـاس برآوردهای صـــورت گرفته در مطالعات ســـیاهه انتشـــار کلان‌شهرها، ضرایب انتشار اتوبوس‌های دیزلی یکی از بالاترین اعداد را در میان وسایل نقلیه به خود اختصاص داده است. با این وجود بخشی از اتوبوس‌های فعال در شهرها با حداقل ظرفیت، مسافران را جابه‌جا کرده و بهره‌وری پایینی دارند. شکل ۱۶ میزان فرســـودگی ناوگان اتوبوس کلان‌شهرهای کشور را نشان می‌دهد. براســـاس آمار اعلامی سازمان شهرداری‌ها و دهیاری‌های کشـــور در سال ۱۴۰۰، به‌طور متوسط ۵۷ درصد اتوبوس‌های کلان‌شـــهرها فرســـوده بوده که این وضعیت برای شهرهایی همچون کرج، اصفهان، قم و تبریز به‌ترتیب با ۹۳، ۶۴، ۶۱ و ۶۰ درصد فرسودگی بسیار وخیم است.

شکل ۱۶. میزان فرسودگی ناوگان اتوبوسرانی کلان‌شهرها [۱۶]



شکل ۱۷. مقایسه ضرایب انتشار ذرات معلق حاصل از رانندگی به شیوه تهاجمی و عادی (منبع: یافته‌های پژوهش)




### ۵-۲. شیوه رانندگی شهروندان

شیوه رانندگی افراد یکی از عوامل مؤثر بر میزان انتشار وسایل نقلیه است. اینکه یک فرد با چه سرعت و شتابی رانندگی می کند و اصطلاحاً میزان تهاجمی[1] بودن رفتار رانندگی وی نقش قابل توجهی در انتشار آلاینده‌ها از وسایل نقلیه دارد. شکل ۱۷ نمونه‌ای از میزان انتشار حاصل از رانندگی به دو شیوه معمولی و تهاجمی مقایسه می کند. نتایج نشان می‌دهد که ضرایب انتشار ذرات معلق مربوط به رانندگی تهاجمی در بسیاری از سرعت‌ها، بیشتر از ضرایب انتشار در حالت رانندگی عادی است. همچنین میزان تراکم ترافیکی و توقف‌های مداوم در کنار کارکردهای در جای وسایل نقلیه نیز بر میزان انتشار آنها خواهد افزود. این موضوع در کلان‌شهرهای کشور به‌دلیل رنج بردن از معضل تراکم ترافیکی بر شدت آلاینده‌ها خواهد افزود.

شکل ۱۷. مقایسه ضرایب انتشار ذرات معلق حاصل از رانندگی به شیوه تهاجمی و عادی (منبع: یافته‌های پژوهش)

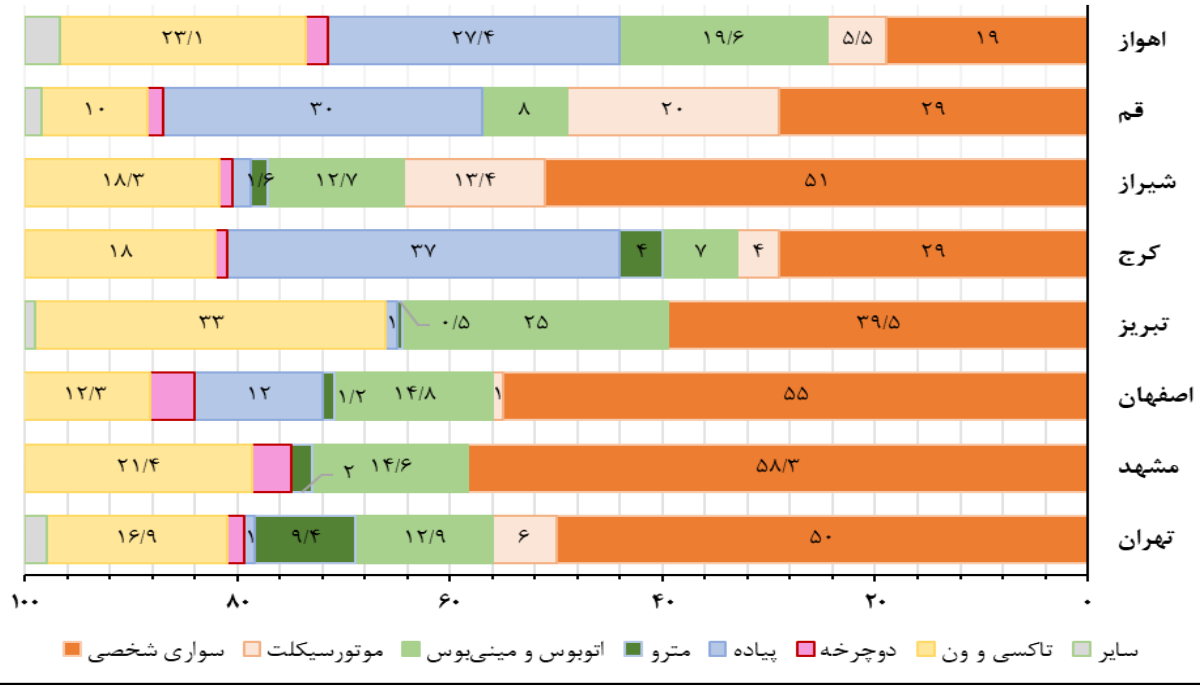
### ۵-۳. معاینه فنی

یکی دیگر از متغیرهای مؤثر بر میزان ضرایب انتشار وسایل نقلیه، نحوه تعمیر و نگهداری از آنهاست. معاینه فنی در بازه‌های زمانی معین یکی از راهکارهای مؤثر برای سوق دادن افراد به تعمیر و نگهداری مناسب وسایل نقلیه محسوب می‌شود. در حال حاضر اخذ معاینه فنی خودروها در کشور به‌صورت سالیانه برای خودروهای با عمر چهار سال و بالاتر به‌صورت الزام درآمده است. این سیاست به‌دلیل عدم اعمال قانون مؤثر برای رانندگان متخلف پیشرفت چندان مناسبی در سال‌های گذشته نداشته و برآوردها نشان می‌دهد که نیمی از وسایل نقلیه کشور دارای گواهی معاینه فنی نمی‌باشند. این در حالی است که به‌دلیل عدم اعمال قانون معاینه فنی برای موتورسیکلت‌ها، مراجعه این وسایل به مراکز معاینه فنی بسیار ناچیز بوده و عملاً بسیاری از شهرهای کشور دارای مراکز معاینه فنی موتورسیکلت‌ها نیستند. همچنین آمارها بیانگر پایین بودن درصد مردودی وسایل نقلیه سبک و سنگین در مراکز معاینه فنی است که محل تأمل بوده و لزوم بازرسی‌های منظم نهادهای مربوطه را از این مراکز می‌طلبد.

### ۵-۴. سهم سفر با شیوه‌های مختلف

شکل ۱۸ سهم شیوه‌های مختلف سفر در کلان‌شهرهای کشور را نمایش می‌دهد. براساس اطلاعات شکل ذیل سهم استفاده از سواری شخصی در سفرهای روزانه شهروندان تهران، مشهد، اصفهان و شیراز بالای ۵۰ درصد است. این در حالی است که سهم حمل‌ونقل عمومی در مقایسه با حمل‌ونقل خصوصی تا حدود زیادی اهداف پایدار حمل‌ونقل را تأمین کرده و موجب کاهش تراکم ترافیکی و آلودگی هوا می‌شود، در شهرهای کشور پایین است.

شکل ۱۸. سهم شیوه‌های مختلف سفر در کلان‌شهرهای کشور [۱۶]




## ۵-۵. سیاست‌های مدیریت تقاضای سفر

مدیریت تقاضای سفر و کاهش سفرهای غیرضروری با استفاده مؤثر و کارآمد از فناوری اطلاعات می‌تواند یکی از راه‌های کاهش سفرهای شهری باشد. در دنیای امروز و با توجه به پیشرفت‌های عظیم انجام شده در زمینه ارتباطات، استفاده از شبکه جهانی اینترنت می‌تواند نقش مؤثری در کاهش سفرهای شهری داشته باشد [۱۷]. کاهش سفرهای شهری موجب کاهش پیمایش وسایل نقلیه شده و در کنار کاهش تراکم ترافیکی کاهش آلودگی هوا را نیز در پی خواهد داشت. راهبردهای مدیریت تقاضای سفر (TDM)[1] طیف وسیعی از سیاست‌ها را با دو رویکرد تشویقی و بازدارنده شامل می‌شود که اجرای توأمان آنها به نتایج قابل توجهی در حمل‌ونقل شهرها منجر خواهد شد. غیرحضوری شدن مشاغل، توسعه دولت الکترونیک، خرید الکترونیکی، حمل‌ونقل اشتراکی، ایجاد نواحی کم‌انتشار ترافیکی (LEZ)[2]، قیمت‌گذاری پارکینگ و ارتقای شیوه‌های حمل‌ونقل فعال (Active) شامل پیاده و دوچرخه از مهم‌ترین سیاست‌های یادشده هستند که توجه شایسته‌ای برای به‌کارگیری آنها در شهرهای کشور نشده است.

1. Aggressive

## ۶. سازوکارهای حقوقی و قانونی در حوزه آلودگی هوا

در ایران سابقه قانون‌گذاری در حوزه آلودگی هوا به سال ۱۳۵۴ می‌رسد. از آن تاریخ تابه‌حال بیش از ۴۰ قانون و مصوبه در خصوص آلودگی هوا در مراجع مختلف تصویب شده‌اند. آخرین قانون جامع در حوزه آلودگی هوا قانون هوای پاک است که در سال ۱۳۹۶ در مجلس شورای اسلامی تصویب شد. این قانون شامل ۳۴ ماده و ۲۹ تبصره و یک آیین‌نامه فنی بوده که مجموعه راهکارهای کاهش و کنترل آلودگی هوا را به تفکیک منابع ذکر نموده‌است. اثربخشی وجود این قانون بر بهبود کیفیت هوا در گرو اجرای آن بوده و هرچقدر در اجرای آن توفیقی حاصل شود به همان میزان می‌توان انتظار حل مسئله آلودگی هوا را داشت. به‌طور خلاصه از بین ۵۶ ماده مقرر در قانون هوای پاک و آیین‌نامه فنی آن اجرای ۲۲ ماده به‌صورت ضعیف، ۱۷ ماده متوسط و ۱۷ ماده خوب، برآورد کارشناسی شده است. بنابراین بیشترین وزن کیفیت اجرا مربوط به اجرای ضعیف و پس از آن اجرای متوسط و خوب بوده است. با این توصیفات به‌طور کلی دستگاه‌های اجرایی در اجرای قانون هوای پاک و آیین‌نامه فنی آن عملکرد ضعیف رو به متوسط داشته‌اند. بدیهی است تا زمانی که نحوه عملکرد بدین صورت باشد نباید انتظار بهبود کیفیت هوا و تحقق هوای پاک را داشت بنابراین بر اساس خلاصه آماری مندرج در جدول ۵ از بین مجموعاً ۵۶ حکم ماده مقرر در قانون هوای پاک به‌صورت درصدی اجرای ۳۹/۳ درصد از مواد ضعیف، ۳۰/۳۵ درصد متوسط و ۳۰/۳۵ درصد خوب بوده است که از این لحاظ بیشترین وزن مربوط به عملکرد ضعیف بوده و عملکردهای متوسط و خوب وزن تقریباً یکسانی دارند.

## جدول ۵. خلاصه آماری میزان پیشرفت اجرای مفاد قانون هوای پاک [۱۸]

| ماده | خلاصه آماری از پیشرفت اقدام‌ها | | | وضعیت کلی اجرا |
|---|---|---|---|---|
| ۲ آیین‌نامه فنی | میزان تولید بنزین یورو ۴ محقق شده از ۷۰ میلیون لیتر در روز | | میزان تولید گازوئیل یورو ۴ محقق شده از ۵۵ میلیون لیتر در روز | متوسط |
| | ۳۰ میلیون لیتر در روز | | ۲۸ میلیون لیتر در روز | |
| ۳ آیین‌نامه فنی | تعداد استانداردهای ملی انواع سوخت‌ها که از زمان ابلاغ آیین‌نامه فنی تدوین و اجباری شده است | | صفر عنوان | ضعیف |
| ۴ آیین‌نامه فنی | آیا تولید انواع خودروها در کشور براساس استاندارد اجباری الزامی انجام می‌شود؟ | | بله | خوب |
| ۵ آیین‌نامه فنی | تعداد دستورالعمل‌های تدوین شده توسط سازمان حفاظت محیط زیست برای به‌روزرسانی فرایند نظارتی بر آلایندگی وسایل نقلیه تولید داخلی و وارداتی | | ۹ عنوان | خوب |
| ۶ آیین‌نامه فنی | تعداد نمونه‌برداری سالیانه به‌ازای تولید ۱۰۰۰۰۰ خودرو | | تعداد نمونه‌برداری سالیانه به‌ازای تولید ۱۰۰۰۰۰ موتورسیکلت | خوب |
| | ۸۳ دستگاه | | ۶۷ دستگاه | |
| ۷ آیین‌نامه فنی | تعداد استانداردهای ملی تدوین شده برای قطعات کاهنده آلایندگی وسایل نقلیه | | صفر عنوان | ضعیف |
| ۸ آیین‌نامه فنی | میزان تعرفه واردات انواع وسایل نقلیه موضوع ماده (۹) آیین‌نامه فنی | | ۵ تا ۴۵ درصد | متوسط |
| ۹ آیین‌نامه فنی | آیا مصرف گاز به‌عنوان سوخت خودرو نسبت به بنزین مزیت دارد؟ | | بله | خوب |
| ۱۰ آیین‌نامه فنی | تعداد خودروهایی که در زمان شماره‌گذاری کد تجهیزات آلایندگی آنها توسط پلیس راهور ثبت شده است | | صفر | ضعیف |
| ۱۱ آیین‌نامه فنی | آیا به‌ازای تولید هر موتورسیکلت بنزینی گواهی اسقاط ارائه می‌شود؟ | | بله | خوب |
| ۱۲ آیین‌نامه فنی | تعداد موتورسیکلت‌های تولید شده در سال ۱۳۹۹ | | تعداد موتورسیکلت‌های برقی تولید شده در سال ۱۳۹۹ | متوسط |
| | ۲۱۱,۰۰۰ دستگاه | | ۹۴۳۱ دستگاه | |
| ۱۳ آیین‌نامه فنی | تعداد شرکت‌های حمل‌ونقل پیک موتوری که ناوگان برقی دارند | | ۳ شرکت | ضعیف |
| ۱۴ آیین‌نامه فنی | تعداد دستگاه‌های اجرایی که موتورسیکلت‌های تحت مالکیت خود را برقی کرده‌اند | | صفر | ضعیف |
| ۱۵ آیین‌نامه فنی | آیا حدود مجاز معاینه فنی انواع وسایل نقلیه ابلاغ و اجرا می‌شود؟ | | بله | خوب |
| ۱۶ آیین‌نامه فنی | طرح کهاب در چند درصد از انبارهای سوخت کشور اجرا شده است؟ | طرح کهاب در چند درصد از تانکرهای حمل سوخت کشور اجرا شده است؟ | طرح کهاب در چند درصد از جایگاه‌های بنزین کشور کامل شده است؟ | متوسط |
| | ۹ درصد | ۳۵ درصد | صفر درصد | |
| ۱۷ آیین‌نامه فنی | درصد خودروهای سنگین و نیمه‌سنگین خریداری/به‌کارگیری شده توسط دستگاه‌های دولتی و عمومی که گازسوز/برقی/دیزلی با عمر کمتر از ۵ سال/دیزلی فیلتردار بوده‌اند | | ۹۵ درصد | خوب |
| ۱۸ آیین‌نامه فنی | آیا استاندارد ملی راهبری ایستگاه‌های پایش و تجهیزات آن تدوین و اجباری شده است؟ | | تدوین شده ولی اجباری خیر | متوسط |
| ۱۹ آیین‌نامه فنی | درصد تجهیزات خریداری شده برای پایش آلودگی هوا در کشور که مطابق با فهرست اعلامی سازمان ملی استاندارد بوده است | | ۹۳ درصد | خوب |
| ۲۰ آیین‌نامه فنی | درصد ایستگاه‌های پایش آلودگی هوا در کشور که اطلاعات آن در اختیار سامانه ملی پایش آلودگی هوا قرار دارد | | ۶۵ درصد | متوسط |
| ۲۱ آیین‌نامه فنی | آیا داده‌های کیفیت هوای شهرها برخط شده و در معرض عموم قرار دارد؟ | | بله | خوب |
| ۲۲ آیین‌نامه فنی | تعداد استان‌هایی که مطالعه میزان خسارت مرگ‌ومیر و بیماری‌های منتسب به آلودگی هوا در آنها انجام شده است | | ۱۰ استان | خوب |
| ۲۳ آیین‌نامه فنی | تعداد نیروگاه‌هایی که بیش از ۳۰ روز مصرف مازوت داشته و تجهیزات فیلتراسیون برای آنها نصب گردیده‌است | | صفر نیروگاه | ضعیف |

1. Traffic Demand Management
2 .Low Emission Zone

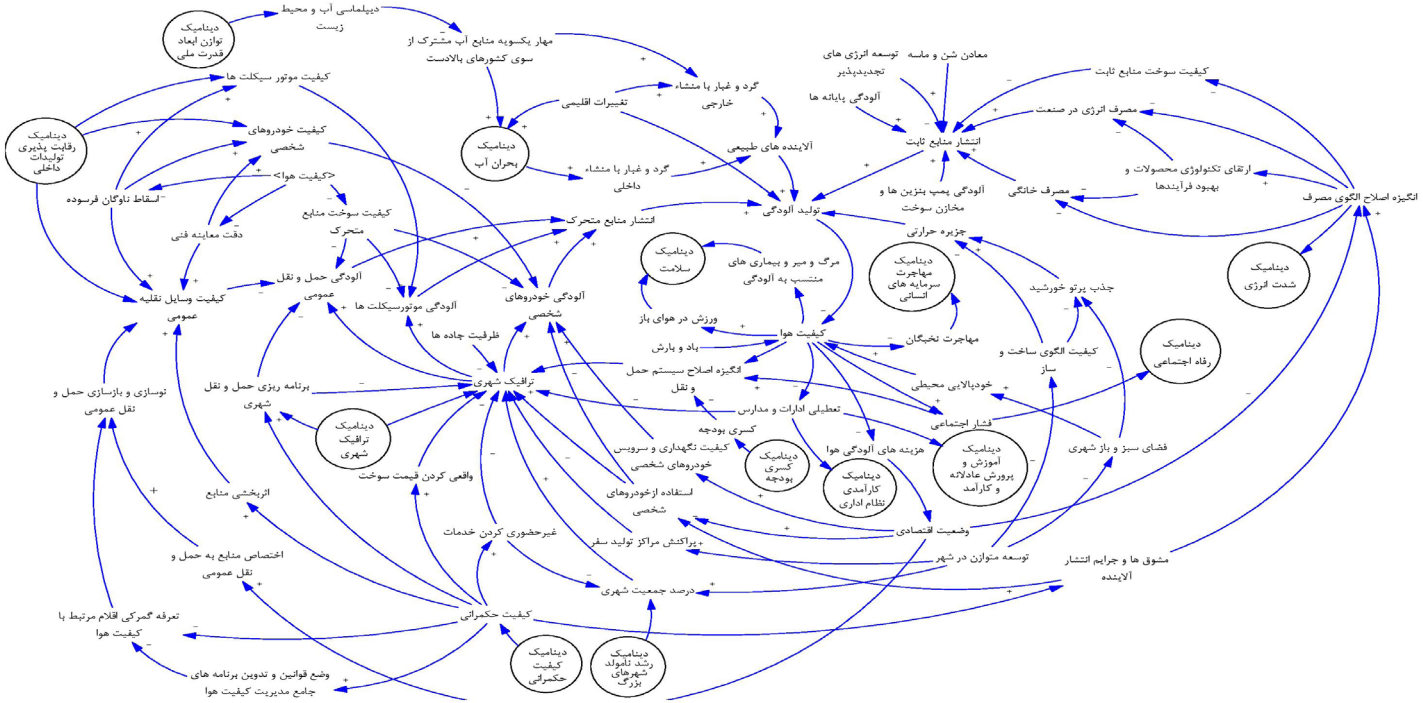
| ماده | خلاصه آماری از پیشرفت اقدام‌ها | | | وضعیت کلی اجرا |
|---|---|---|---|---|
| ۲۴ آیین‌نامه فنی | تعداد کلان‌شهرهایی که مطالعه سیاهه انتشار آلایندگی برای آنها انجام شده است | | ۹ کلان‌شهر | خوب |
| ۲۵ آیین‌نامه فنی | آیا گرایش‌ها و رشته‌های مرتبط با آلودگی هوا در دانشگاه‌ها وجود دارد؟ | | بله | خوب |
| ۲۶ آیین‌نامه فنی | آیا وابستگی به آزمایشگاه‌های خارجی جهت آزمایشات پایش آلودگی هوا و منابع آلاینده رفع شده است؟ | | خیر | متوسط |
| ۳ | تعداد کارگروه‌های اضطرار تشکیل شده در کشور در سال ۱۳۹۹ | تعداد مصوبات کارگروه‌ها | تعداد مصوبات اجرا شده | متوسط |
| | ۸۶ جلسه | ۵۹۲ عنوان | ۵۳۵ | |
| ۴ | آیا وسایل نقلیه تولید داخلی و وارداتی حدود مجاز انتشار آلاینده‌های موضوع قانون هوای پاک را رعایت می‌کنند؟ | | بله | متوسط |
| | آیا استاندارد کیفی تجهیزات مرتبط با احتراق و آلایندگی وسایل نقلیه تدوین و اجرا شده است؟ | | خیر | |
| ۵ | آیا تجهیزات کاهنده آلایندگی وسایل نقلیه تولید داخلی گارانتی دو ساله دارند؟ | | بله | خوب |
| ۶ | تعداد کل معاینه فنی‌های اخذ شده توسط انواع خودروها و موتورسیکلت‌ها در سال ۱۳۹۹ در کل کشور | | تعداد کل جریمه‌های ثبت شده موضوع ماده (۶) قانون هوای پاک در سال ۱۳۹۹ | متوسط |
| | ۵،۳۳۰،۰۰۰ فقره | | ۱،۰۸۸،۰۰۰ فقره (به‌جز تهران) | |
| ۷ | تعداد طرح‌های ترافیکی تصویب شده موضوع ذیل ماده (۷) قانون هوای پاک | | صفر | ضعیف |
| ۸ | تعداد قبض جریمه صادر شده برای وسایل نقلیه فرسوده | | کل تسهیلات پرداخت شده برای جایگزینی وسایل نقلیه فرسوده | ضعیف |
| | صفر جریمه | | ۱۱۷،۰۰۰،۰۰۰،۰۰۰ ریال | |
| ۹ | تعداد کل تاکسی‌های نوسازی شده در کشور بعد از سال ۱۳۹۶ | | تعداد کل اتوبوس‌ها و مینی‌بوس‌های نوسازی شده در کشور بعد از سال ۱۳۹۶ | ضعیف |
| | ۱۹۹۵۶ دستگاه | | ۸۶۶ دستگاه | |
| ۱۰ | تعداد اضافه شده به ناوگان حمل‌ونقل عمومی در کشور | | صفر دستگاه | ضعیف |
| ۱۱ | تعداد کل استعلام‌های مربوط به احداث، توسعه، تغییر خط تولید و محل واحدهای تولیدی، صنعتی و معدنی | | تعداد استعلام‌هایی که با پاسخ منفی مواجه شده‌اند | متوسط |
| | ۵۳۶۶۹ استعلام | | ۶۰۳۴ استعلام | |
| | درصد از پروژه‌ها و طرح‌های بزرگ و متوسط که مشمول ارزیابی اثرات زیست‌محیطی بوده و تجهیزات پایش برخط آلاینده‌ها را نصب نموده‌اند | | ۵۱ درصد | |
| ۱۲ | چند درصد از واحدهای صنعتی، تولیدی و... در کشور نسبت به اندازه‌گیری آلایندگی خود اقدام نموده‌اند؟ | | تعداد واحدهای بزرگ آلاینده در کشور که تعطیلی آنها تأثیرات ملی و منطقه‌ای دارد | متوسط |
| | ۷۸ درصد | | ۴۴ واحد | |
| ۱۳ | تعداد واحدهایی که از سوخت نامناسب استفاده می‌نمایند | | تعداد واحدهایی که به‌نحوی آلایندگی خود را کنترل نموده‌اند | ضعیف |
| | ۱۲۳ واحد | | ۵۴ واحد | |
| ۱۴ | تعداد واحدهای صنعتی، تولیدی، خدماتی و... که برای رفع آلایندگی آنها راهی به‌جز انتقال وجود ندارد | | تعداد واحدهایی که منتقل شده‌اند | ضعیف |
| | ۵۴ واحد | | ۲ واحد | |
| ۱۵ | تعداد واحدهای جدیدالاحداث که کمتر از ۱۰ درصد از فضای خود را به فضای سبز مشجر اختصاص داده‌اند | | ۳۴ | خوب |
| ۱۶ | تعداد موارد ممانعت از ورود یا ارائه اطلاعات غلط به مأموران پایش | میزان درصد واحدهای بالای ۵۰ نفر که واحد HSE دارند | تعداد آزمایشگاه‌های معتمد متخلف که به مراجع قضایی معرفی شده‌اند | خوب |
| | ۱۹۰ مورد | ۹۱ درصد | ۱۳ آزمایشگاه | |
| ۱۷ | تعداد کل ساختمان‌های دولتی در کشور | | تعداد ساختمان‌های اداری که موتورخانه خود را معاینه فنی کرده‌اند | ضعیف |
| | ۷۲۰۰۰ ساختمان | | ۲۸۰۹ | |

| ماده | خلاصه آماری از پیشرفت اقدام‌ها | | | وضعیت کلی اجرا |
|---|---|---|---|---|
| ۱۸ | میزان درصد از جایگاه‌هایی که بنزین در آخرین گزارشات پایش سوخت سازمان محیط زیست حاوی بنزین یورو ۴ بودند | میزان درصد از جایگاه‌هایی که بنزین در آخرین گزارشات پایش سوخت سازمان محیط زیست حاوی گازوئیل یورو ۴ بودند | | متوسط |
| | ۲۸ درصد | ۴۱ درصد | | |
| ۱۹ | درصد تأمین افزایش مصرف برق از طریق منابع تجدیدپذیر در سال ۱۳۹۶ | درصد تأمین افزایش مصرف برق از طریق منابع تجدیدپذیر در سال ۱۳۹۷ | درصد تأمین افزایش مصرف برق از طریق منابع تجدیدپذیر در سال ۱۳۹۸ | ضعیف |
| | ۱۱ درصد | ۹ درصد | ۷ درصد | |
| ۲۰ | تعداد تخلفات گزارش شده درخصوص تخلفات ماده (۲۰) قانون هوای پاک به مراجع ذی‌صلاح | | ۴۱۶ | ضعیف |
| ۲۱ | تعداد طرح‌های تفصیلی شهرها، شهرک‌ها و شهرهای جدید و طرح‌های هادی روستایی که ضوابط زیست‌محیطی را لحاظ کرده‌اند | | صفر طرح | ضعیف |
| ۲۲ | میزان کل فضای سبز ایجاد شده در شهرهای بالای ۵۰ هزار نفر | | ۱۵ میلیون متر مربع | ضعیف |
| ۲۳ | اقدامی صورت نگرفته است | | | ضعیف |
| ۲۴ | وسعت کل مناطق کانون گردوغبار کشور | وسعت مناطقی که عملیات مهار گردوغبار در آنجا اجرا شده | | ضعیف |
| | ۳۵,۰۰۰,۰۰۰ هکتار | ۲۷۹,۷۶۵ هکتار | | |
| ۲۵ | نیاز آبی سالیانه کل تالاب‌های کشور | میزان حقآبه اختصاص‌یافته به‌طور میانگین به تالاب‌های کشور | | متوسط |
| | ۲۳ میلیارد متر مکعب | ۱۳ میلیارد متر مکعب | | |
| ۲۶ | شبکه ملی هشدار سیل | شبکه ملی هشدار طوفان | شبکه ملی هشدار گردوغبار | متوسط |
| | راه‌اندازی نشده | راه‌اندازی شده | راه‌اندازی شده | |
| ۲۷ | میزان فضای سبز ایجاد شده در حاشیه بزرگراه‌ها، کمربند سبز شهرها و روستاها در کل کشور | | ۱۰,۵۰۰ هکتار | خوب |
| ۲۸ | مجموع مدت زمان برنامه‌های اختصاص‌یافته به موضوع آلودگی هوا در شبکه‌های صدا و سیما | | ۲۸۷۵ ساعت | متوسط |
| ۲۹ | تعداد کل شکایات آلودگی صوتی در کشور | میزان کل جرائم آلایندگی صوتی خودروها | | ضعیف |
| | ۱۷۰ مورد | ۳۱,۰۰۰ میلیون ریال | | |
| ۳۰ | میزان کل جرائم مربوط به آلایندگی امواج رادیویی، الکترومغناطیسی، پرتوهای یون‌ساز و غیریون‌ساز | | صفر ریال | ضعیف |
| ۳۱ | - | | | متوسط |
| ۳۲ | تعداد استان‌هایی که حداقل یک شعبه برای رسیدگی به جرائم قانون هوای پاک اختصاص داده‌اند | تعداد پرونده‌های تشکیل شده در قوه قضائیه در چارچوب قانون هوای پاک | | خوب |
| | ۱۷ استان | ۶۶۰ پرونده | | |
| ۳۳ | اطلاعاتی درخصوص درآمدهای حاصل از اجرای قانون و تخصیص آن در دسترس نیست | | | ضعیف |

## ۷. مدل پویایی‌شناسی آلودگی هوا

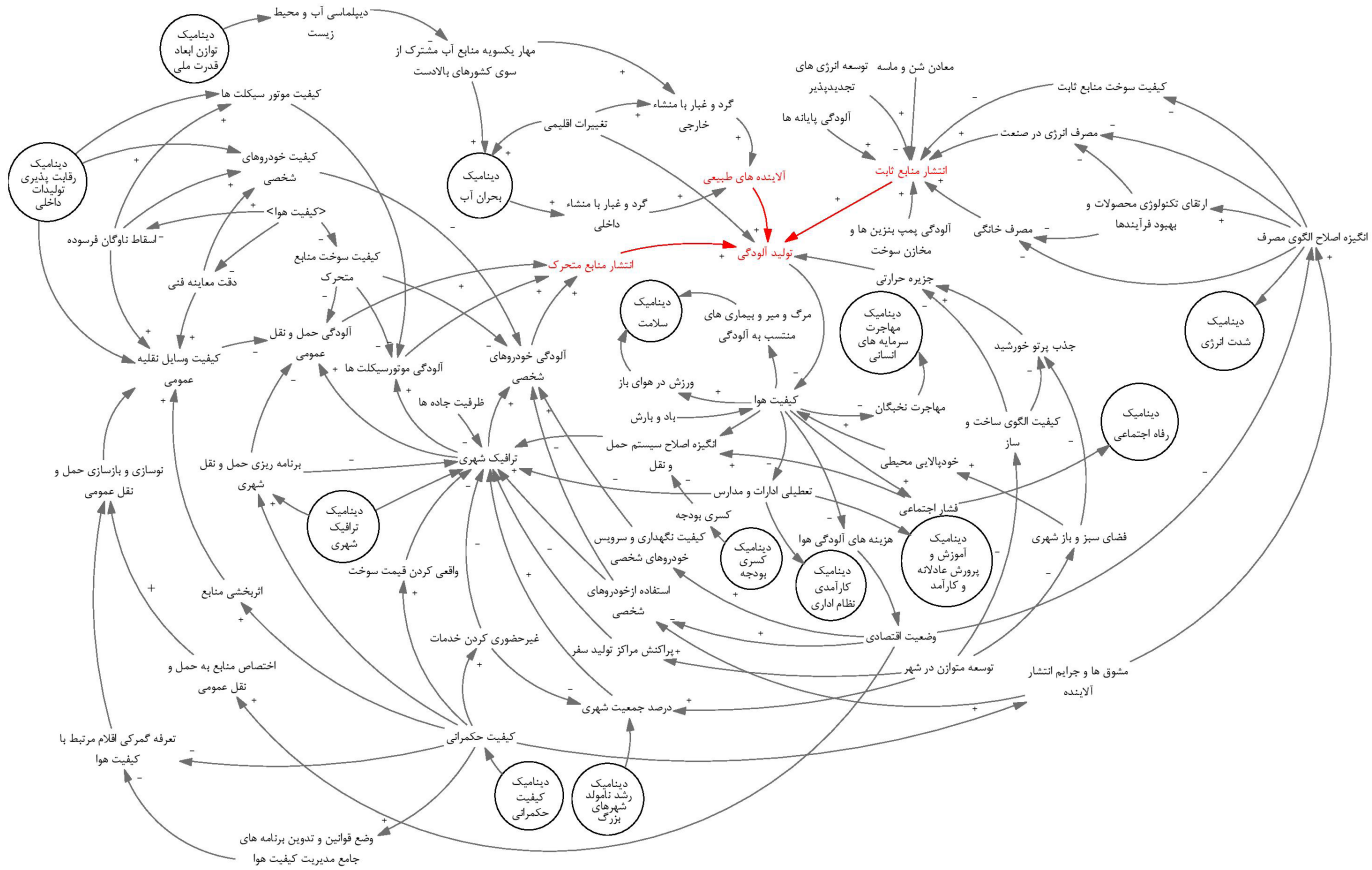
در این بخش از گزارش به معرفی پویایی‌هـــای ایجادکننده و اثرگذار بر چالش آلودگی هوا پرداخته شده اســـت. برای این منظور یک مدل علی - حلقوی توســـعه داده شده اســـت. این نوع از مدل‌ها با مشخص کـــردن روابط علـــی و معلولی میـــان متغیرهای مهم، به شناســـایی پویایی‌ها و بازخوردهای پیچیده سیستم‌ها می‌پردازند. با شناسایی این پیچیدگی‌ها، درک اجزای سیستم تسهیل شده و به اثربخشی و کارایی سیاستگذاری‌ها افزوده می‌شود.

## شکل ۱۹. مدل علی حلقوی کیفیت هوا



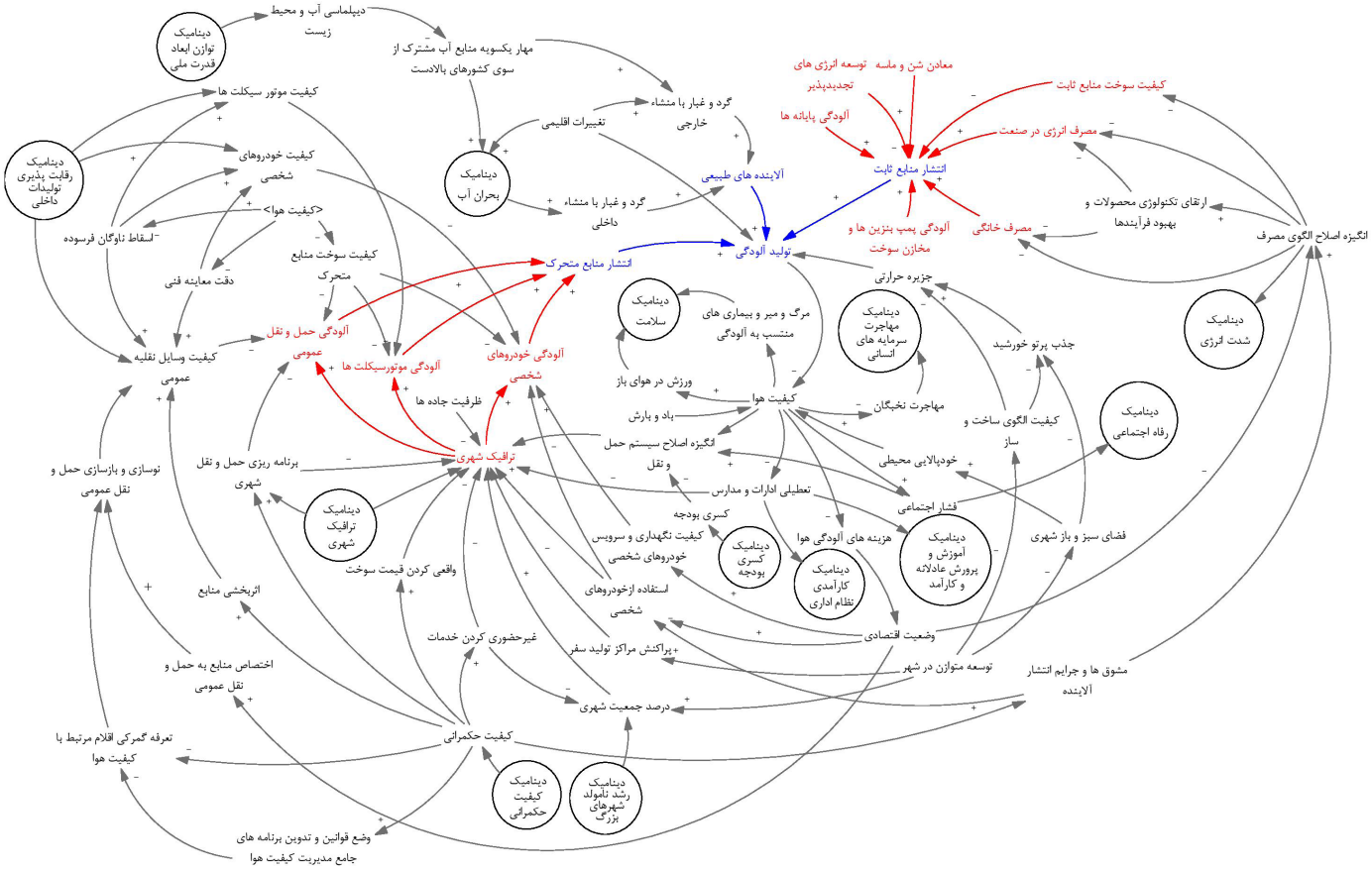
شکل ۱۹ مدل علی و حلقوی کیفیت هوای اشاره شده را نمایش می‌دهد. در ادامه این گزارش به معرفی و تبیین روابط موجود در این مدل پرداخته شده است. برای این منظور در شکل‌های مختلف و به‌صورت تدریجی هریک از روابط مدل معرفی شده‌اند. در هر شکل روابط علی و معلولی قرمز رنگ نشـــان‌دهنده روابط جدید معرفی شده در آن شکل و روابط آبی رنگ نمایش‌دهنده روابط معرفی شده در شکل‌های قبلی هستند. همچنین روابط خاکستری در شکل‌های آتی معرفی خواهند شد.

**شکل ۲۰.منابع تولیدکننده آلاینده‌ها**



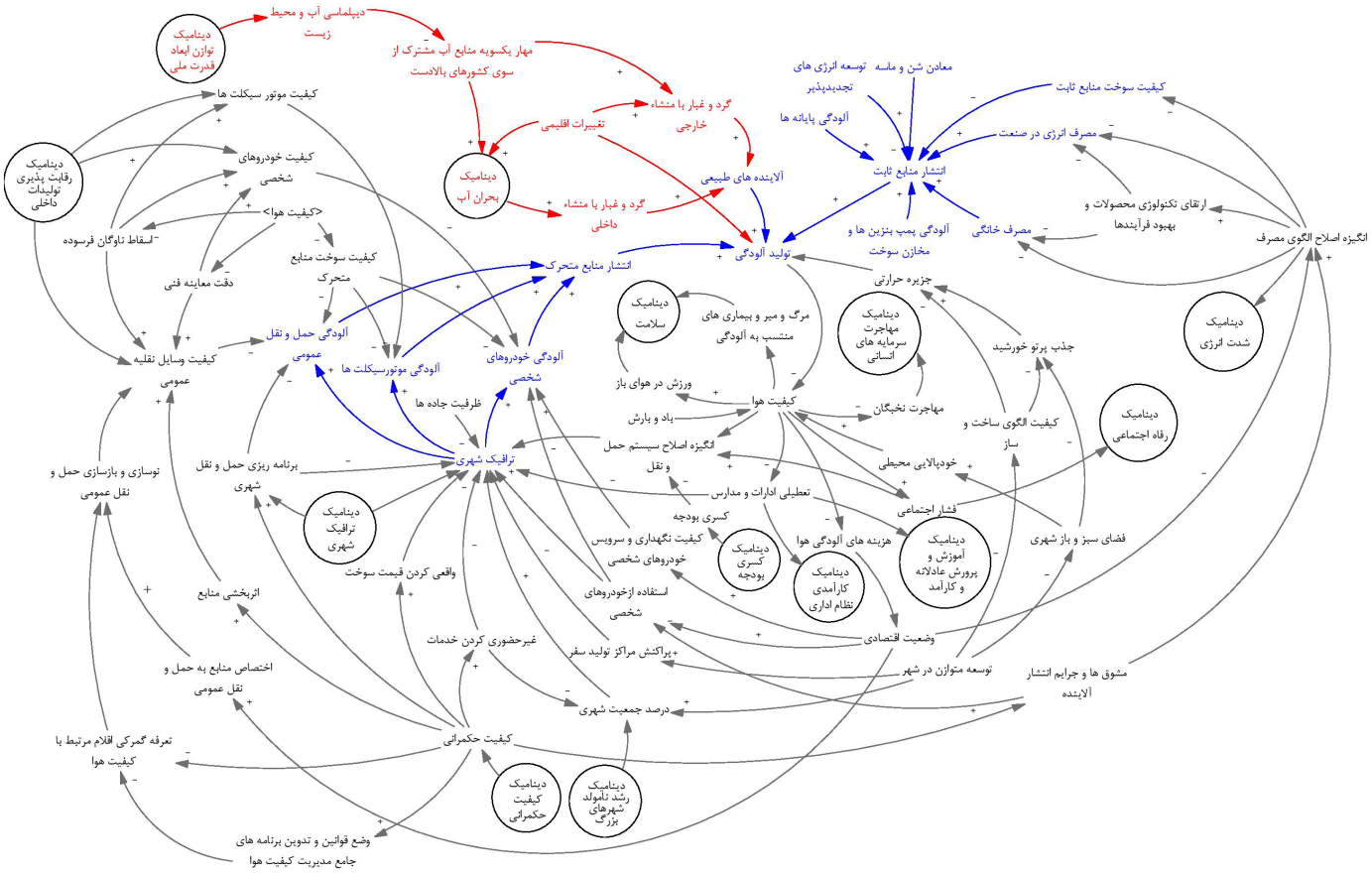

طبق روابط نمایش داده شده، منابع انتشار آلاینده‌های ثابت و متحرک در کنار آلاینده‌هـــای طبیعی موجب تولید آلودگی می‌شـــوند. منابع انتشار متحرک عبارت هستند از خودروها، موتورسیکلت‌ها و سیستم حمل‌ونقل عمومی که میزان آلایندگی آنها تحت تأثیر مقدار ترافیک نیز است. ازطرف‌دیگر منابع انتشار ثابت شامل آلودگی ناشی از مصرف فرار دارد. از دیگر منابع انتشار آلاینده‌ها می‌توان به پایانه‌های مسافربری و جایگاه‌های سوخت اشاره کرد که سالیانه مقدار زیادی آلودگی را وارد هوای شهر می‌کنند. علاوه بر موارد فوق که تولید آلودگی در آنها بیشتر ناشی از استفاده از سوخت‌های فسیلی است، معادن شن و ماسه در شهر نیز موجب تولید گردوغبار در شهر می‌شوند (شکل ۲۱).

## شکل ۲۱. منابع ثابت و متحرک تولید آلودگی هوا



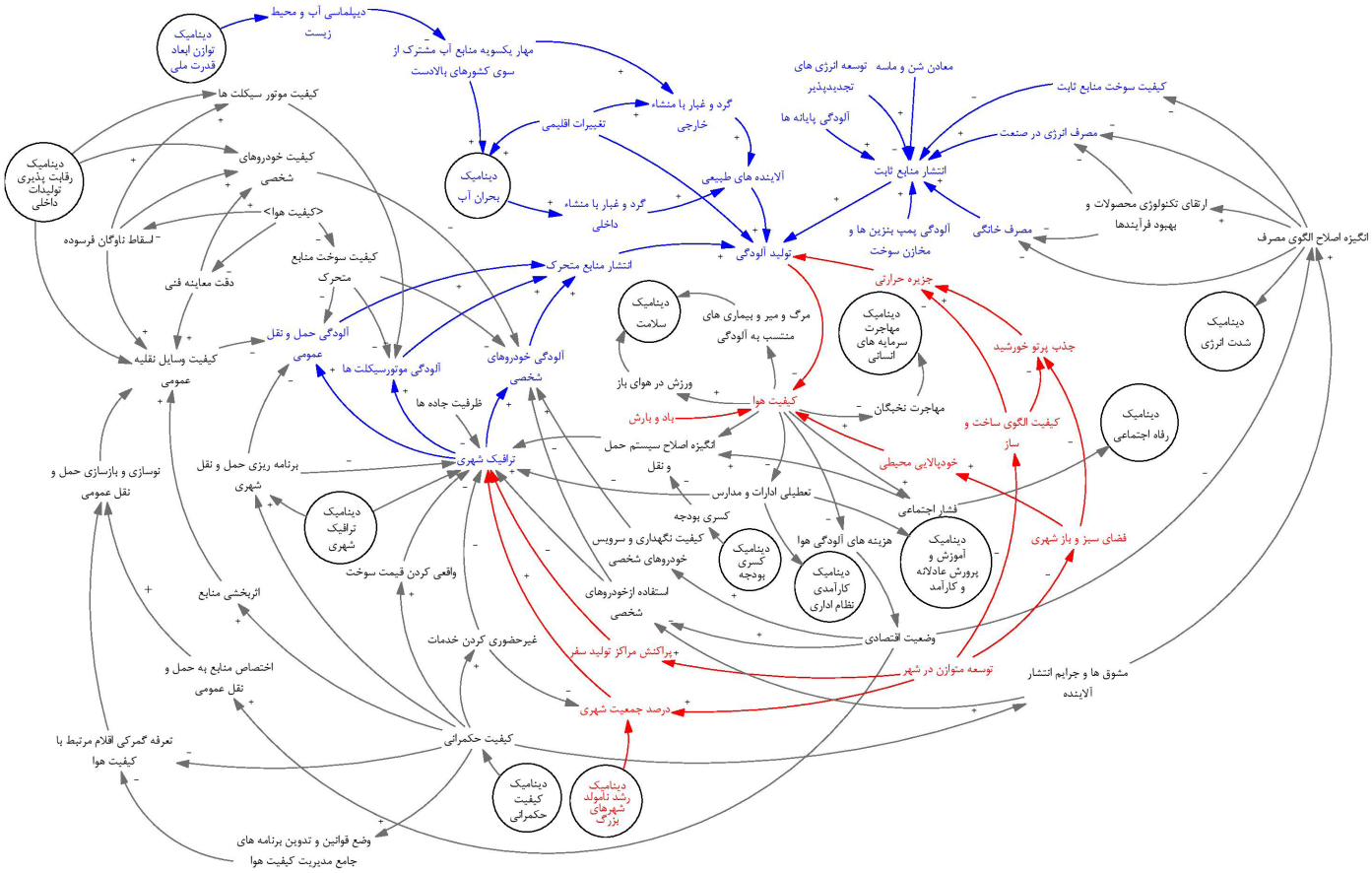

علاوه بر منابع تولید آلودگی اشاره شده که مستقیماً به‌دلیل فعالیت‌های انسانی ایجاد می‌شوند، بخشی از آلودگی هوای شهرهای کشور به‌دلیل آلاینده‌های طبیعی مانند گردوغبار است. این نوع آلاینده‌ها از کانون‌های مختلفی در داخل و خارج کشور برخواسته و وارد حریم شهرها می‌شوند. عوامل مختلفی مانند تغییرات اقلیمی و همچنین سدسازی و مهار آب‌های مشترک کشورهای بالادست موجب گسترش کانون‌های تولید این نوع آلاینده‌ها هستند. در مورد اخیر می‌توان با فعال کردن دیپلماسی آب و محیط زیست به‌سمت کاهش شدت اقدام‌ها و همچنین کنترل پیامدها گام برداشت.

## شکل ۲۲. آلاینده‌های طبیعی هوا



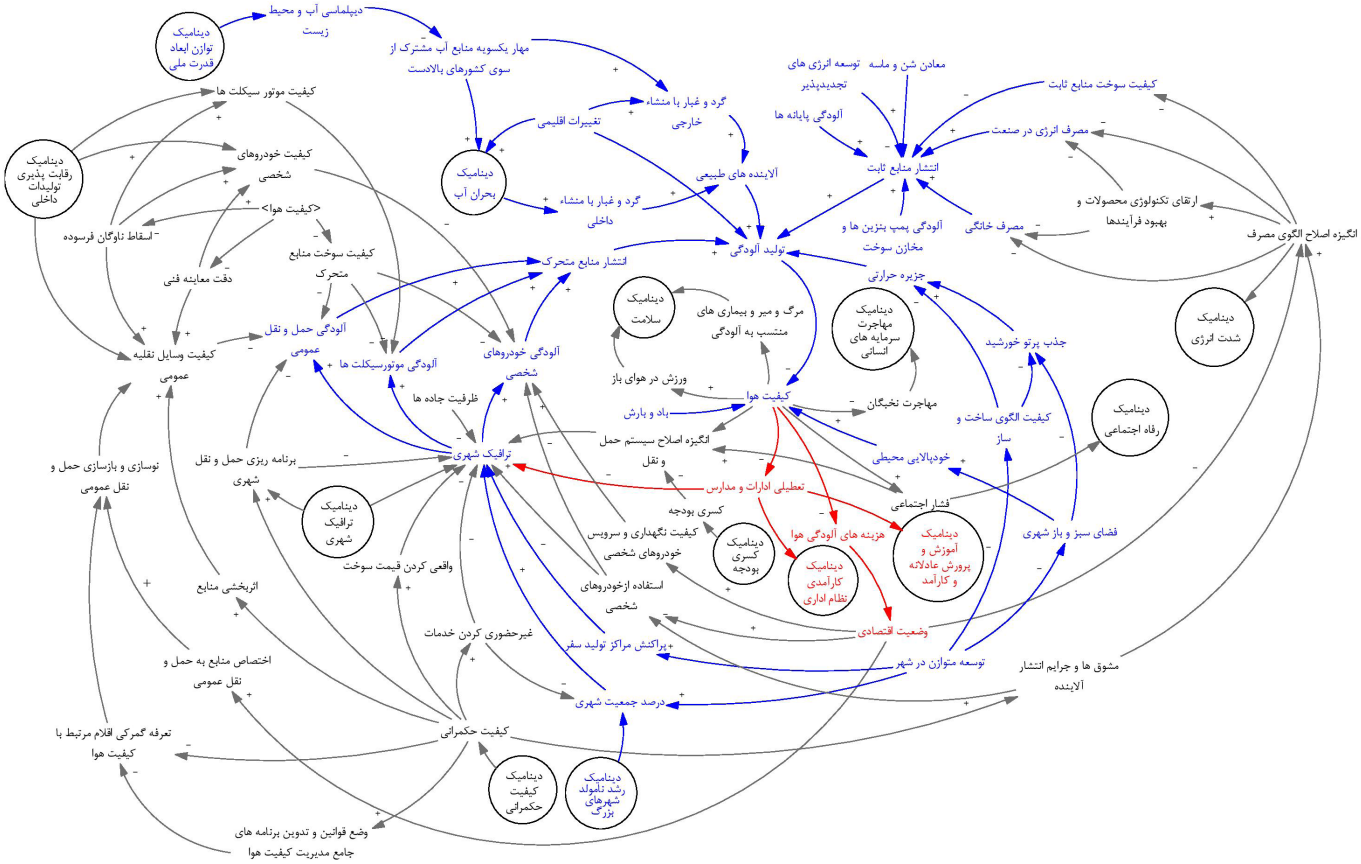

الگوی توسعه شهری و توسعه متوازن شهرها از عواملی هستند که موجب تشدید آلودگی هوا و کاهش خود پالایی محیطی می‌شوند. کیفیت پایین ساخت‌وسازها و بلندمرتبه‌سازی در شـــهرها موجب ایجاد جزیره‌های حرارتی و به دام افتادن آلاینده‌ها در محیط شهر می‌شوند. ازطرف‌دیگر توسعه نامتوازن شهری عواقبی چون تمرکز مراکز تولید و جذب سفر را به‌دنبال دارد که موجب افزایش نیاز به سفرهای بین‌منطقه‌ای شده و آلودگی بیشتر از منابع انتشار متحرک را به‌همراه می‌آورد. اصلاح الگوی توسعه شـــهرها و پراکنش متوازن امکانات و زیرساخت‌ها و همچنین گسترش فضاهای سبز از جمله راه‌های کنترل کیفیت هوا در شهرهای بزرگ برای مقابله با عوامل مذکور هستند. شکل ۲۳ موارد اشاره شده و روابط علی و معلولی نمایش‌دهنده نحوه تأثیرگذاری آنها روی سایر متغیرهای مدل علی - حلقوی را نمایش می‌دهند.

## شکل ۲۳. نقش الگوی توسعه و توسعه متوازن در تشدید آلودگی هوا



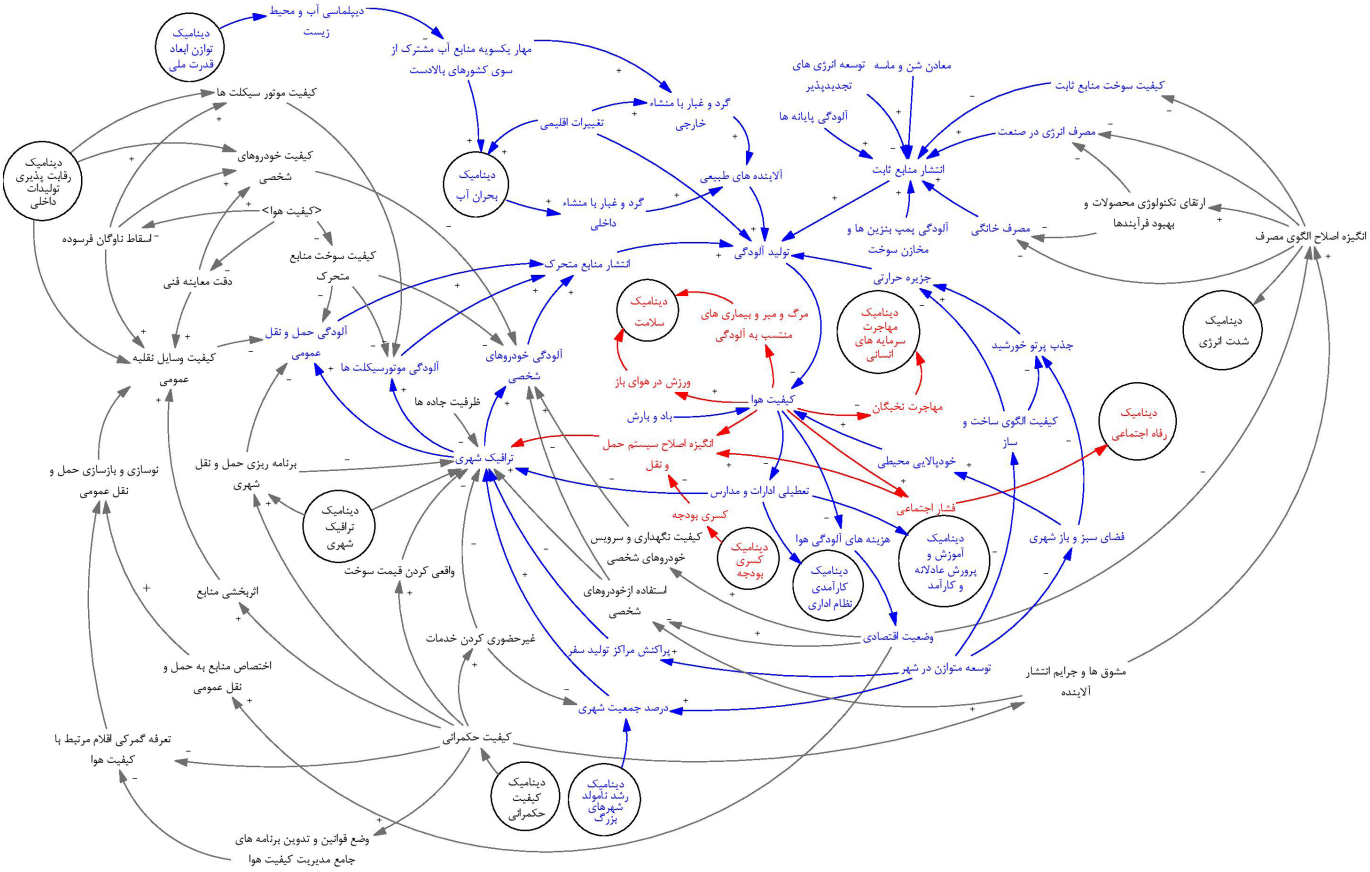

همان‌طور که در شـــکل ۲۴ مشاهده می‌شـــود، با کاهش کیفیت هوا، تعطیلی ادارات و مدارس به‌منظور کمینه‌سازی مواجهه مردم و گروه‌های حساس و کاهش ترافیک شهری و کنترل آلودگی با منشأ منابع متحرک اســـت. ولی تعطیلی‌های فوق تأثیرات جانبی دیگری را به‌همراه دارد. برای مثال تعطیلی مدارس موجب کاهش کیفیت آموزش و درنتیجه افت تحصیلی دانش‌آموزان می‌شـــود. ازطرف‌دیگـــر تعطیلی ادارات و کسب‌وکارها نیز موجب تحمیل هزینه‌های اقتصادی به کشور در سطح کلان و کسب‌وکارها در سطح خرد شده و فعالیت‌های اقتصادی روزانه را با چالش مواجه می‌کند.

**شکل ۲۴. تأثیر تعطیلی ادارات و مدارس در زمان کاهش کیفیت هوا**



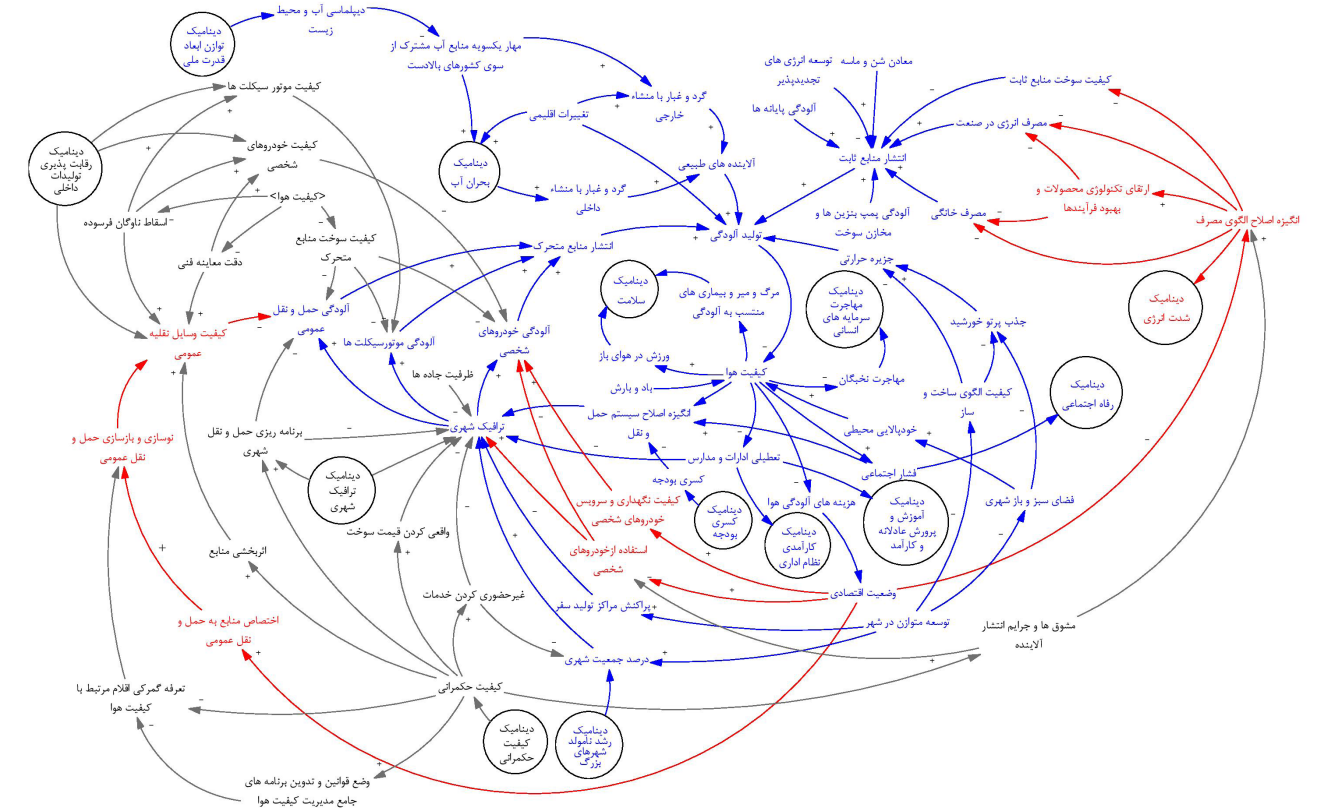

کاهش کیفیت هـــوا پیامدهای مختلفی را به‌همـــراه دارد که در اثر آن جامعه واکنش‌هایی را خواهد داشـــت (شـــکل ۲۵). اصلی‌ترین پیامد کاهش کیفیت هوا افزایش خسارات سلامتی است که موجب مرگ‌ومیر و افزایش معنادار بیماری‌های مختلف می‌شود. علاوه بر خسارات سلامت، آلودگی هوا پیامدهای منفی دیگری را در بخش‌های مختلف کشور نظیر مهاجرت نخبگان، کاهش کیفیت زندگی و خســـارت به مردم از منظر ســـلامت روحی و روانی به‌همراه دارد. البته کاهش کیفیت هوا موجب کاهش تمایل عمومی به ورزش و حضور در فضای آزاد می‌شـــود. این کاهش تحرک در کنار بیماری‌هایی که به‌صورت مستقیم به آلودگی هوا منتسب می‌شوند، کاهش کیفیت سلامت عمومی را موجب می‌شوند.

## شکل ۲۵. پیامدها و واکنش عمومی به کاهش کیفیت هوا

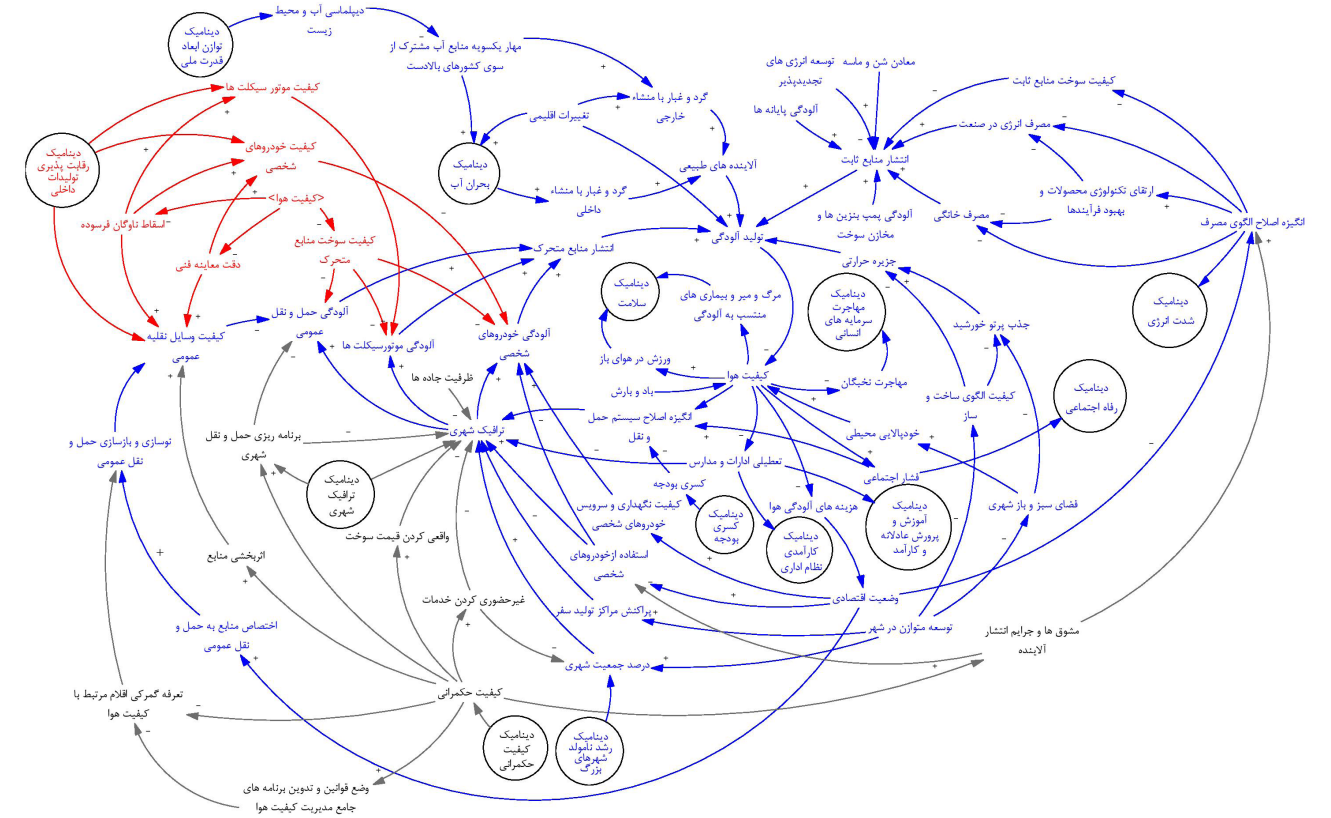



همان‌طور که اشاره شـــد کاهش کیفیت هوا می‌تواند آثار منفی روی اقتصاد داشته باشـــد و یا حداقل مشـــکلات این حوزه را تشدید کند. وضعیت اقتصادی نامطلوب اگرچه ممکن اســـت تا حدودی اســـتفاده از خودروهای شـــخصی را به‌دلیل افزایش هزینه‌ها کاهش دهد؛ ولی ازطرف‌دیگر موجب کاهش کیفیت نگهداری و ســـرویس آنها نیز شده و می‌تواند میزان انتشـــار آلاینده‌ها را افزایش دهد. از دیگر نتایج افت شـــرایط اقتصادی کاهش اختصاص منابع به حمل‌ونقل عمومی است که درنتیجه نوسازی و بازســـازی آنها را دچار چالش کرده و این اتفاق موجب کاهش کیفیت وسایل نقلیه عمومی و درنتیجه افزایش انتشار آلودگی از این بخش می‌شود. ازطرف‌دیگر افت شرایط اقتصادی افزایش انگیزه اصلاح الگوی مصرف را به‌همراه دارد که به استفاده بهینه‌تر منابع و ارتقای فرایندها و تکنولوژی‌های استفاده‌کننده و همچنین افزایش کیفیت سوخت می‌انجامد. روابط مرتبط با موارد اشاره شده در این بخش در مدل علی - حلقوی شکل ۲۶ مشخص شده‌اند.

## شکل ۲۶.نتایج افت شرایط اقتصادی بر آلودگی هوا

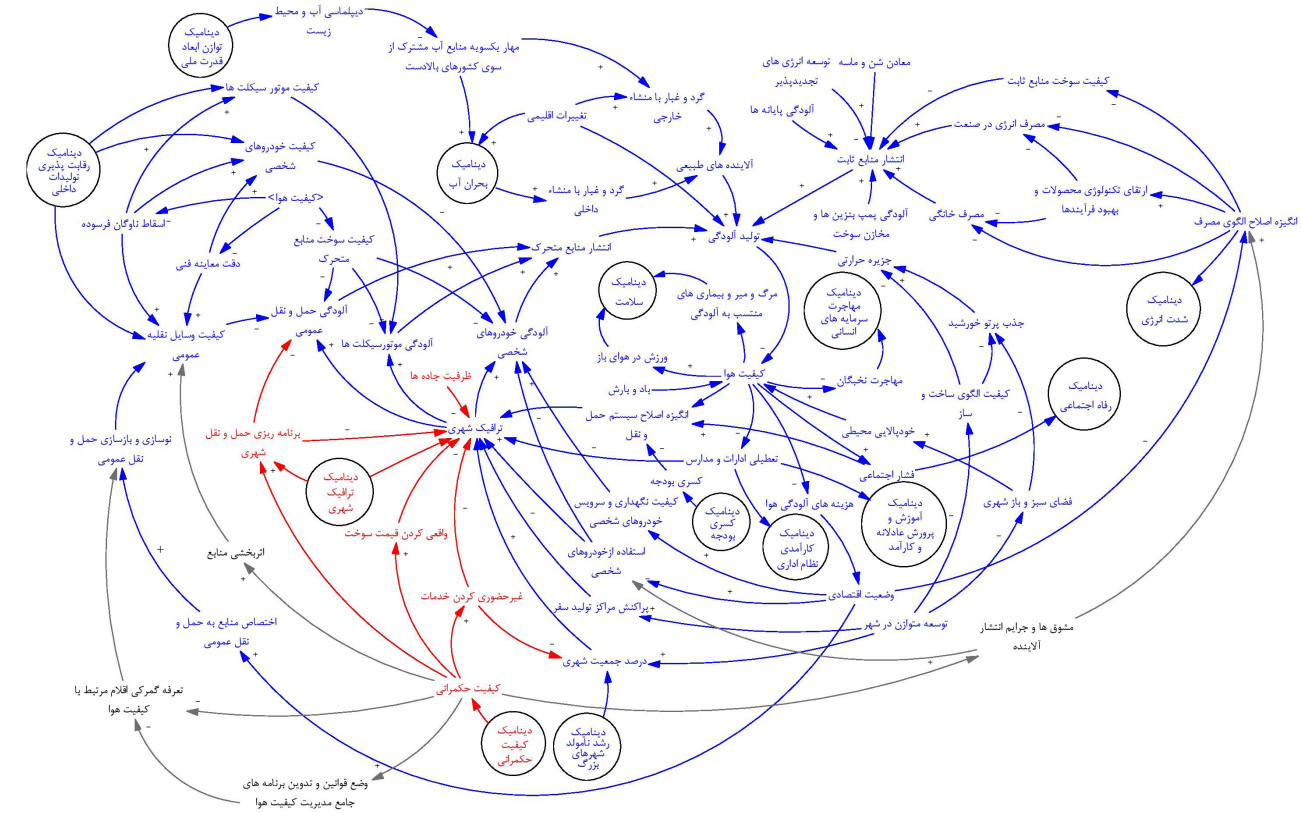



## شکل ۲۷.عوامل اثرگذار بر آلودگی ناشی از منابع متحرک



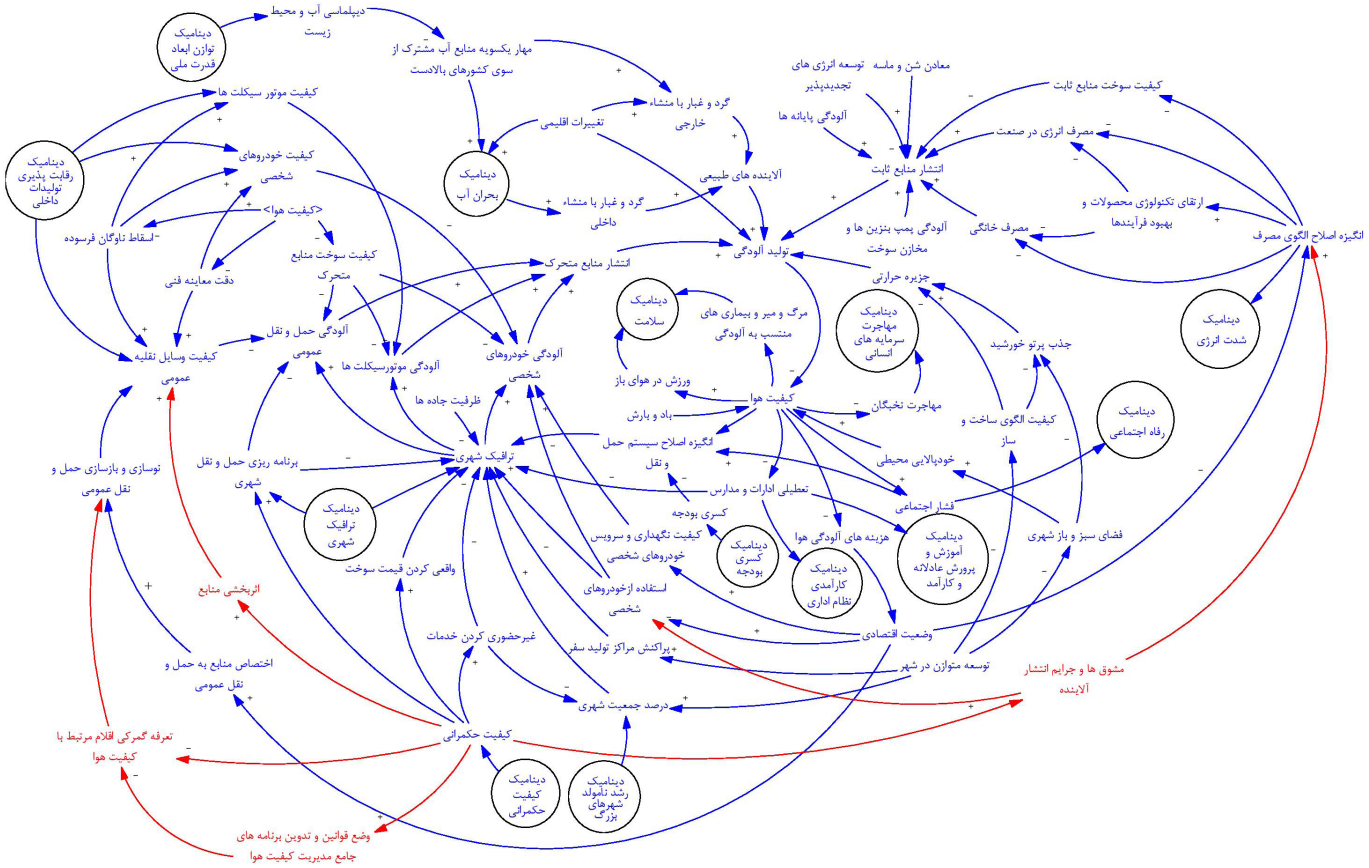
شکل ۲۷ روابط مرتبط با عوامل تأثیرگذار روی انتشار آلاینده‌های هوا را از منابع متحرک نمایش می‌دهد. همان‌طور که در مدل علی - حلقوی فوق دیده می‌شـــود، علاوه بر ترافیک که قبلاً توضیح داده شد، کیفیت خودروها، موتورسیکلت‌ها و وسایل نقلیه عمومی عامل دیگری در میزان انتشار آلاینده‌های هواســـت. ازجمله راهکارهایی که می‌توان کیفیت وسایل نقلیه موتوری اشاره شده را افزایش داد، افزایش کیفیت و دقت معاینه فنی و همچنین اسقاط وســـایل نقلیه فرسوده است. همچنین افزایش کیفیت ســـوخت نیز می‌تواند به‌صورت چشمگیری به کاهش آلاینده‌های منتشره از این بخش منجر شود.

**شکل ۲۸. ارتباط میان کیفیت حکمرانی و آلودگی هوا - بخش اول**




افزایش کیفیت حکمرانی در مســـائل مربوط به ترافیک و حمل‌ونقل ازجمله راهکارهای اثربخشی شمرده می‌شود که به‌منظور کاهش انتشار آلاینده‌های هوا در دسترس است. افزایش کیفیت حکمرانی می‌تواند به شکل‌های مختلف مانند غیرحضوری شدن خدمات، واقعی‌سازی قیمت سوخت و ارتقای برنامه‌ریزی حمل‌ونقل شهری فرصت بروز پیدا کند. همه این عوامل در کنار یکدیگر موجب کاهش تمایل و نیاز به سفرهای درون‌شهری یا حداقل افزایش جذابیت استفاده از حمل‌ونقل عمومی شود که با کاهش ترافیک به کاهش انتشار آلاینده‌های هوا می‌انجامد. روابط مورد اشاره در شکل ۲۸ مشخص شده‌اند.

**شکل ۲۹. ارتباط میان کیفیت حکمرانی و آلودگی هوا- بخش دوم**




افزایش کیفیت حکمرانی همچنین می تواند به اتخاذ و یا تسریع در پیاده‌سازی و کیفیت سیاست‌ها منجر شود. به‌عنوان مثال در پیش گرفتن راهکارهایی مانند ارائه مشوق‌ها و در نظر گرفتن جرائم انتشار آلاینده‌ها می‌تواند به کاهش استفاده از خودروهای شخصی و همچنین افزایش انگیزه اصلاح الگوی مصرف منجر شود. از طرف دیگر وضع قوانین و تدوین برنامه‌های جامع مدیریت هوا و اجرای کارآمد آن و همچنین وضع تعرفه‌های گمرکی و تخصیص اثربخش منابع مالی به‌منظور نوسازی و بازسازی ناوگان حمل‌ونقل عمومی از جمله نتایج بهبود کیفیت حکمرانی در موضوع کیفیت هوا است. به‌طور کلی افزایش کیفیت حکمرانی می‌تواند به اتخاذ راهکارهای اثربخش برای کنترل آلودگی هوا و پیاده‌سازی کاراتر آنها منجر شود.

## جمع‌بندی

در گزارش حاضر سعی شده است با توجه به ماهیت پیچیده و پویای مسئله آلودگی هوا، از مدل علی – حلقوی برای تحلیل پویایی‌شناسی موضوع استفاده شود. این نوع از مدل‌ها با مشخص کردن روابط علی و معلولی میان متغیرهای مهم، به شناسایی پویایی‌ها و بازخوردهای پیچیده سیستم‌ها می‌پردازند. با شناسایی این پیچیدگی‌ها، درک اجزای سیستم تسهیل شده و به اثربخشی و کارایی اقدام‌های سیاستی و اجرایی افزوده می‌شود. در مدل حاضر منابع ثابت و متحرک به‌عنوان دو منشأ اصلی آلودگی مورد واکاوی دقیق‌تر قرار گرفته و تأثیر و تأثرات این مدل با دیگر مسائل کشور نظیر ترافیک شهری، رقابت‌پذیری، شدت انرژی، رشد نامولد شهرهای بزرگ و کیفیت حکمرانی مورد واکاوی قرار گفته است. درمجموع افزایش کیفیت حکمرانی در مسائل مربوط به ترافیک شهری و حمل‌ونقل عمومی و اصلاح الگوی مصرف از جمله راهکارهای اثربخشی شمرده می‌شود که به‌منظور کاهش انتشار آلاینده‌های هوا در دسترس است. امید است تحلیل پویایی‌شناسی حاضر از معضل آلودگی هوا بتواند زمینه مناسبی برای اتخاذ اقدام‌های سیاستی و اجرایی بهینه و اثربخش را برای سیاستگذاران و مدیران کشور فراهم کند.

## منابع و مآخذ


1. https://www.iqair.com/world-most-polluted-countries
2. https://www.iqair.com/world-most-polluted-cities
۳. سازمان حفاظت محیط زیست، گزارش مدیریتی تهیه فهرست انتشار آلاینده‌های هوا، ۱۴۰۱.
4. https://epi.yale.edu/epi-results/2022/country/irn
5. http://airnow.tehran.ir/
6. https://www.eea.europa.eu/en
۷. وزارت بهداشت، درمان و آموزش پزشکی، کمی‌سازی اثرات بهداشتی و اقتصادی منتسب به آلاینده ذرات معلق $PM_{2.5}$ در بیست‌وهفت شهر ایران در سال ۱۴۰۰، شهریورماه ۱۴۰۱.
۸. سازمان حفاظت محیط زیست، گزارش مدیریتی تهیه فهرست انتشار آلاینده‌های هوا، ۱۴۰۰.
9.Taghvaee, S. et al., "Source Apportionment of Ambient PM2.5 in Two Locations in Central Tehran Using the Positive Matrix Factorization (PMF) Model", Science of the Total Environment, 2018, pp. 672-686.
10- Mohammad Arhami, Maryam Zare Shahne, Vahid Hosseini, Navid Roufigar Haghighat, Alexandra M. Lai, James J. Schauer, "Seasonal Trends in the Composition and Sources of PM2.5 and Carbonaceous Aerosol in Tehran, Iran", J. of Environmental Pollution, 2018, 239, 69-81.
۱۱. محمد کاظمی سوچلمایی و سیدمحمدرضا گلدانساز، محاسبه اثربخشی و اولویت‌بندی راهکارهای مدیریت کیفیت هوای تهران، مرکز مطالعات شهرداری تهران، ۱۳۹۹.
12. yjc.ir/00ZMeg
۱۳. گزارش تخصصی مرکز پژوهش‌های مجلس، بررسی راهکارهای پیشنهادی جهت کاهش آثار مصرف سوخت‌های مایع جایگزین در نیروگاه‌ها بر آلودگی هوای کلان شهرهای کشور، ۱۴۰۰.
۱۴. گزارش تخصصی مرکز پژوهش‌های مجلس، آسیب‌شناسی اجرای طرح کهاب- عملکرد و توجیه اقتصادی، ۱۴۰۰.
۱۵. گزارش تخصصی مرکز پژوهش‌های مجلس، آسیب‌شناسی وضعیت اسقاط وسایل نقلیه فرسوده در کشور و ارائه راهکارهای پیشنهادی، ۱۴۰۰.
۱۶. سازمان شهرداری‌ها و دهیاری‌ها، تحلیل وضعیت حمل‌ونقل و ترافیک شهری (بخش اول: کلان‌شهرها)، ۱۴۰۰.
۱۷. احمد حاتمی، اولویت‌بندی سیاست‌های مدیریت تقاضای حمل و نقل (TDM) در کلان‌شهر تهران با استفاده از تحلیل سلسله‌مراتبی (AHP)، فصلنامه علمی جاده، دوره ۲۸، شماره ۱۰۴، مهر ۱۳۹۹، صفحه ۵۰-۳۵.
۱۸. گزارش تخصصی مرکز پژوهش‌های مجلس، آسیب‌شناسی قانون هوای پاک – بخش اول: عملکرد، ۱۴۰۰.

مرکز پژوهش های مجلس شورای اسلامی

تهران، خیابان پاســـداران، روبروی پـــارک نیاوران (ضلع جنوبی، پلاک ۸۰۲)

تلفن: ۷۵۱۸۳۰۰۰ صندوق پستی: ۵۸۵۵-۱۵۸۷۵ پست الکترونیک: mrc@majles.ir

وب سایت: rc@majles.ir