

A Review of Policies and Tools for Reducing Air Pollutants from Fuel Consumption in Urban Transportation

Mohaddseh Zahmatkesh Anbarani

Student Research Committee, Department of Environmental Health Engineering, School of Health, Mashhad University of Medical Sciences, Mashhad, Iran

Ali Moodi

Student Research Committee, Department of Environmental Health Engineering, School of Health, Mashhad University of Medical Sciences, Mashhad, Iran

Ziaeddin Bonyadi

* Social Determinants of Health Research Center, Department of Environmental Health Engineering, School of Health, Mashhad University of Medical Sciences, Mashhad, Iran. **(Corresponding Author)** Bonyadiz@mums.ac.ir

Abstract

Background and Objective: The intensification of urban air pollution as a result of traffic growth has led to an increase in pollutants such as particulate matter and nitrogen oxides. Therefore, policy-making in the field of urban transportation has become one of the main axes for controlling and reducing air pollutants. The aim of the present study is to review and analyze the policies and tools used to reduce air pollutants resulting from fuel consumption in urban transportation.

Materials and Methods: Original research articles were selected from reputable databases. In total, 20 articles from studies published between 2015 and 2025 were retrieved, primarily from databases such as Scopus, Google Scholar, Web of Science, and ScienceDirect.

Results: Economic policies, such as fuel price reform and congestion pricing, have primarily operated by reducing travel demand and fuel consumption, and in many cases have been associated with short-term reductions in traffic pollutants. Regulatory and enforcement policies, such as technical inspections and traffic restrictions, demonstrate higher effectiveness when monitoring and law enforcement are conducted continuously and strictly. Technological and fleet policies, such as electrification and fleet modernization, have the potential for more sustainable reduction of combustion pollutants, but their success depends on infrastructure readiness and the speed of fleet replacement. Behavioral and managerial policies, including promoting cycling and travel demand management, can achieve pollutant reduction through decreased traffic volume, provided they create a significant shift in travel duration.

Conclusion: The results of this study indicate that none of the policies are sufficient on their own, and success in reducing air pollution requires a combined policy package. Strengthening implementation prerequisites, such as continuous monitoring, strict law enforcement, and the development of necessary infrastructure, is a key and fundamental condition for the success of policies aimed at reducing air pollutants in cities. Policymakers must employ a combination of economic, regulatory, and technological tools, taking into account the local conditions of each city, to achieve environmental sustainability and reduce urban air pollution.

Keywords: Air Pollution, Emission Reduction Policy, Urban transportation, Fuel Consumption

Open Access Policy: This is an open access article under the terms of the Creative Commons Attribution License, which permits use, distribution and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited. To view a copy of this licence, visit <https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>

► **Citation:** Zahmatkesh Anbarani M, Moodi A, Bonyadi Z. A Review of Policies and Tools for Reducing Air Pollutants from Fuel Consumption in Urban Transportation. *Journal of Research in Environmental Health*. 11(4):109-120.

Received: 2025/05/31

Accepted: 2025/10/03

Doi:10.22038/jreh.2025.27523

مروری بر سیاست‌ها و ابزارهای کاهش آلاینده‌های هوا ناشی از مصرف سوخت در حمل‌ونقل شهری

چکیده

زمینه و هدف: تشدید آلودگی هوای شهری در نتیجه رشد ترافیک، منجر به افزایش آلاینده‌هایی مانند ذرات معلق و اکسیدهای نیتروژن شده است. از این‌رو، سیاست‌گذاری در حوزه‌ی حمل‌ونقل شهری به یکی از محورهای اصلی کنترل و کاهش آلاینده‌های هوا تبدیل شده است. هدف پژوهش حاضر، مرور و تحلیل سیاست‌ها و ابزارهای به‌کاررفته برای کاهش آلاینده‌های هوا ناشی از مصرف سوخت در حمل‌ونقل شهری است.

مواد و روش‌ها: مقالات پژوهشی اصیل از پایگاه‌های داده معتبر انتخاب شدند. در مجموع، ۲۰ مقاله مطالعات منتشر شده بین سال‌های ۲۰۱۵ تا ۲۰۲۵، که عمدتاً از پایگاه‌های داده‌ای مانند Science Direct، Web of Science، Google Scholar، Scopus و Science Direct بازیابی شدند.

یافته‌ها: سیاست‌های اقتصادی مانند اصلاح قیمت سوخت و هزینه‌گذاری تردد، عمدتاً از مسیر کاهش تقاضای سفر و مصرف سوخت عمل کرده و در بسیاری از موارد با کاهش کوتاه‌مدت آلاینده‌های ترافیکی همراه بوده‌اند. سیاست‌های تنظیمی و اجرایی نظیر معاینه فنی و محدودیت‌های تردد، زمانی اثربخشی بالاتری نشان می‌دهند که پایش و اعمال قانون به‌صورت مستمر و سخت‌گیرانه انجام شود. سیاست‌های فناورانه و ناوگانی مانند برقی‌سازی و نوسازی ناوگان، ظرفیت کاهش پایدارتر آلاینده‌های احتراقی را دارند، اما موفقیت آن‌ها به آمادگی زیرساخت و سرعت جایگزینی ناوگان وابسته است. سیاست‌های رفتاری و مدیریتی از جمله توسعه دوچرخه‌سواری و مدیریت تقاضای سفر، در صورت ایجاد جابه‌جایی معنادار در مدت سفر، می‌توانند کاهش آلاینده‌ها را از مسیر کاهش حجم تردد محقق کنند.

نتیجه‌گیری: نتایج این مطالعه نشان می‌دهد که هیچ‌یک از سیاست‌ها به‌تنهایی کافی نیستند و موفقیت در کاهش آلودگی هوا نیازمند یک بسته سیاستی ترکیبی است. تقویت پیش‌نیازهای اجرایی مانند پایش مستمر، اعمال قانون سخت‌گیرانه و توسعه زیرساخت‌های لازم، شرط کلیدی و بنیادین موفقیت سیاست‌های کاهش آلاینده‌های هوا در شهرهاست. سیاست‌گذاران باید با توجه به شرایط بومی هر شهر، ترکیبی از ابزارهای اقتصادی، تنظیمی و فناورانه را به کار گیرند تا پایداری زیست‌محیطی و کاهش آلودگی هوای شهری محقق شود.

کلیدواژه: آلودگی هوا، سیاست کاهش آلاینده، حمل‌ونقل شهری، مصرف سوخت

محدثه زحمت‌کش عنبرانی

کمیته تحقیقات دانشجویی، گروه مهندسی بهداشت محیط، دانشکده بهداشت، دانشگاه علوم پزشکی مشهد، مشهد، ایران.

علی مودی

کمیته تحقیقات دانشجویی، گروه مهندسی بهداشت محیط، دانشکده بهداشت، دانشگاه علوم پزشکی مشهد، مشهد، ایران.

ضیاءالدین بنیادی

* مرکز تحقیقات عوامل اجتماعی موثر بر سلامت، گروه مهندسی بهداشت محیط، دانشکده بهداشت، دانشگاه علوم پزشکی مشهد، مشهد، ایران. (نویسنده

مسئول

Bonyadiz@mums.ac.ir

◀ **استناد:** زحمت‌کش عنبرانی م، مودی ع، بنیادی ض. مروری بر سیاست‌ها و ابزارهای کاهش آلاینده‌های هوا ناشی از مصرف سوخت در حمل‌ونقل شهری. فصلنامه‌ی پژوهش در بهداشت محیط. زمستان ۱۴۰۴؛ ۱۱(۴): ۱۰۹-۱۲۰.

تاریخ دریافت: ۱۴۰۴/۰۳/۱۰

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۴/۰۷/۱۱

نوع مقاله: مروری

آلودگی هوا یکی از مهم‌ترین چالش‌های زیست‌محیطی و بهداشتی در جهان معاصر به‌شمار می‌رود که پیامدهای گسترده‌ای بر سلامت عمومی، کیفیت زندگی شهروندان و پایداری نظام‌های شهری دارد (۱). گسترش شهرنشینی، رشد جمعیت شهری و افزایش تقاضای انرژی طی دهه‌های اخیر، موجب تشدید انتشار انواع آلاینده‌های جوی شده است (۲). این مسئله نه تنها به افزایش هزینه‌های درمانی و کاهش بهره‌وری اقتصادی منجر می‌شود، بلکه به‌عنوان یکی از موانع اصلی دستیابی به توسعه پایدار نیز شناخته می‌شود (۳).

در میان منابع مختلف انتشار آلاینده‌های هوا، بخش حمل‌ونقل شهری سهم قابل‌توجهی دارد. وابستگی گسترده این بخش به سوخت‌های فسیلی و احتراق درون‌سوز، موجب تولید آلاینده‌هایی نظیر ذرات معلق (PM_{2.5} و PM₁₀)، اکسیدهای نیتروژن (NO_x)، مونوکسیدکربن (CO) و ترکیبات آلی فرار (VOC) می‌شود (۴). این آلاینده‌ها اثر مستقیم و غیرمستقیمی بر سلامت انسان و محیط‌زیست دارند. افزایش تعداد خودروهای شخصی، فرسودگی ناوگان، تراکم ترافیکی و الگوهای نامناسب کاربری زمین، شرایطی را فراهم کرده است که بسیاری از کلان‌شهرها با سطوح نگران‌کننده‌ای از آلودگی هوا مواجه باشند (۵).

پژوهش‌های اقتصادی نشان می‌دهند که به‌دلیل عدم تعادل بین هزینه‌های اجتماعی ناشی از آلودگی هوا و منافع خصوصی حمل‌ونقل فردی، دخالت مستقیم دولت برای تعدیل این نابرابری و اصلاح ساختار هزینه‌ها، یک ضرورت اجتناب‌ناپذیر در سیاست‌گذاری عمومی است (۶). علاوه بر این، مطالعات بر پایداری شهری تاکید دارند که تداوم الگوهای فعلی مصرف سوخت، تاب‌آوری اکولوژیکی کلان‌شهرها را در برابر بحران‌های محیط‌زیستی به خطر انداخته و گذار به سیستم‌های کم‌کربن را به یک الزام استراتژیک تبدیل کرده است (۷). پیامدهای این وضعیت، سیاست‌گذاران را وادار کرده است تا کنترل و کاهش آلاینده‌های ناشی از مصرف سوخت در حمل‌ونقل شهری را در اولویت برنامه‌های زیست‌محیطی و شهری قرار دهند (۸). در این راستا، رویکردهای متنوعی از جمله تدوین استانداردهای سخت‌گیرانه آلودگی، ارتقای کیفیت

سوخت، اصلاح ساختار قیمت‌گذاری انرژی، توسعه حمل‌ونقل عمومی پاک، برقی‌سازی ناوگان و اعمال محدودیت‌های ترافیکی به اجرا درآمده است (۹). این اقدامات بیانگر نقش کلیدی سیاست‌های عمومی در هدایت رفتار مصرف‌کنندگان، تولیدکنندگان و مدیران شهری به سمت کاهش انتشار آلاینده‌هاست (۱۰).

با این حال، تنوع سیاست‌ها و تفاوت در بسترهای اقتصادی، اجتماعی و نهادی شهرها موجب شده است که نتایج حاصل از اجرای این ابزارها یکسان نباشد (۱۱). برای مثال، مطالعات نشان می‌دهند که در حالی که اجرای طرح‌های ترافیک در شهرهایی مانند لندن و استکهلم منجر به کاهش قابل‌توجه ذرات معلق شده است (۱۲)، در برخی کلان‌شهرهای در حال توسعه، به‌دلیل نبود زیرساخت‌های حمل‌ونقل عمومی جایگزین، چنین محدودیت‌هایی با مقاومت اجتماعی و اثربخشی محدود مواجه شده‌اند (۱۳). هم‌چنین، سیاست‌های قیمت‌گذاری سوخت اگرچه در کاهش مصرف کوتاه‌مدت موفق بوده‌اند، اما در بلندمدت بدون همراهی با نوسازی ناوگان، تاثیر خود را از دست داده‌اند (۱۴). از این‌رو، بررسی تطبیقی و تحلیلی سیاست‌ها و ابزارهای به‌کاررفته می‌تواند به درک بهتر نقاط قوت و ضعف رویکردهای موجود کمک کند.

برخی سیاست‌ها توانسته‌اند به کاهش قابل‌ملاحظه انتشار آلاینده‌ها منجر شوند، در حالی که برخی دیگر به‌دلیل ضعف در اجرا، ناهماهنگی نهادی یا نبود زیرساخت‌های لازم، با اثربخشی محدود همراه بوده‌اند. از این‌رو، بررسی تطبیقی و تحلیلی سیاست‌ها و ابزارهای به‌کاررفته می‌تواند به درک بهتر نقاط قوت و ضعف رویکردهای موجود کمک کند (۱۵).

علاوه بر این، رویکردهای نوین سیاستی در سال‌های اخیر، گذار از رویکردهای صرفاً فنی به سمت استقرار سیاست‌های یکپارچه حمل‌ونقل و محیط‌زیست را تجربه می‌کنند (۱۶). تلفیق ابزارهای اقتصادی با مداخلات فناورانه، استفاده از سازوکارهای بازارمحور و توجه به مدیریت تقاضای سفر، نشان‌دهنده‌ی تحول در نگرش سیاست‌گذاری در این حوزه است. چنین تحولاتی ضرورت مرور نظام‌مند ادبیات موجود را برای شناسایی روندهای غالب و جهت‌گیری‌های آینده دوجندان می‌سازد (۱۷).

اقتصادی، فناورانه و مدیریتی مرتبط با کاهش آلاینده‌های ناشی از سوخت در حمل‌ونقل شهری را فراهم ساخت.

منابع بازیابی‌شده در مرحله‌ی بعد به‌صورت دستی غربالگری شدند تا مطالعات غیرمرتبط، تکراری یا فاقد تمرکز مستقیم بر سیاست‌های حمل‌ونقل شهری حذف شوند. تمرکز اصلی بر مقالات پژوهشی، مطالعات موردی شهری، گزارش‌های سیاستی منتشرشده در مجلات علمی معتبر و اسناد تحلیلی دارای چارچوب ارزیابی مشخص بوده است. در نهایت، مطالعات منتخب بر اساس ارتباط موضوعی، کیفیت علمی و ارائه داده‌های کمی یا تحلیل سیاستی ساختارمند انتخاب شدند.

معیارهای ورود به مطالعه شامل چند شاخص مشخص بود که به‌منظور حفظ انسجام علمی و تمرکز موضوعی در نظر گرفته شدند. در همین راستا، پس از بررسی اولیه، مجموعاً ۲۰ مقاله معتبر که بیشترین انطباق را با موضوع پژوهش داشتند، برای نهایی‌سازی انتخاب شدند. نخست، تنها مقالات پژوهشی اصیل یا مطالعات تحلیلی منتشرشده در مجلات علمی معتبر و نمایه‌شده مورد بررسی قرار گرفتند تا از کیفیت و اعتبار علمی منابع اطمینان حاصل شود. دوم، مطالعاتی وارد فرآیند بررسی شدند که تمرکز صریح و مستقیم بر سیاست‌ها یا ابزارهای کاهش آلاینده‌های هوا در بخش حمل‌ونقل شهری داشته باشند و به‌طور مشخص به مداخلات سیاستی در این حوزه پرداخته باشند. سوم، وجود شواهد کمی از جمله میزان کاهش انتشار آلاینده‌ها، تغییر در شاخص‌های کیفیت هوا، نتایج تحلیل هزینه-فایده، یا ارائه‌ی تحلیل سیاستی مبتنی بر چارچوب نظری یا ارزیابی ساختارمند، به‌عنوان یکی از معیارهای اصلی انتخاب در نظر گرفته شد.

یافته‌ها

عوامل اثربخشی بر سیاست‌های کاهش آلاینده‌های

سیاست کاهش آلاینده

در جدول ۱، «سیاست» به‌معنای نوع مداخله یا اقدام سیاستی است که دولت یا مدیریت شهری برای کاهش آلاینده‌های هوا ناشی از مصرف سوخت در حمل‌ونقل شهری به‌کار می‌گیرد. این مفهوم شامل سیاست‌های اقتصادی، فناورانه، رفتاری، تحلیلی و تنظیمی است. مطابق داده‌های جدول، حدود ۳۳ درصد از مطالعات به سیاست‌های اقتصادی و مالی (مانند افزایش قیمت

بر این اساس، مقاله‌ی حاضر با هدف مرور و تحلیل سیاست‌ها و ابزارهای کاهش آلاینده‌های هوا ناشی از مصرف سوخت در بخش حمل‌ونقل شهری تدوین شده است. این مقاله تلاش می‌کند با دسته‌بندی رویکردهای سیاستی و تبیین چارچوب‌های اجرایی آن‌ها، تصویری جامع از اقدامات انجام‌شده ارائه دهد و زمینه‌ای برای ارتقای کیفیت سیاست‌گذاری در این حوزه فراهم آورد.

روش کار

این مطالعه با بهره‌گیری از رویکرد مرور روایتی به بررسی و تحلیل سیاست‌ها و ابزارهای کاهش آلاینده‌های هوا ناشی از مصرف سوخت در بخش حمل‌ونقل شهری می‌پردازد. برخلاف چارچوب‌های سخت‌گیرانه مرور نظام‌مند، این رویکرد بر شناسایی روندهای سیاست‌گذاری، دسته‌بندی ابزارهای مداخله‌ای، تحلیل سازوکارهای اجرایی و ارزیابی تجربیات کشورهای مختلف تأکید دارد. هدف اصلی، ارائه تصویری جامع و تحلیلی از تحولات سیاستی در این حوزه و استخراج الگوهای غالب در طراحی و اجرای سیاست‌های کنترلی است.

جست‌وجوی منابع علمی بازه‌ی زمانی ۲۰۱۵ تا ۲۰۲۵ را پوشش می‌دهد تا تحولات اخیر سیاستی و تجربیات نوین شهری در نظر گرفته شود. به‌منظور دستیابی به ادبیات جامع داخلی و بین‌المللی، پایگاه‌های اطلاعاتی معتبر شامل Scopus، Web of Science، ScienceDirect، Google Scholar، SID برای شناسایی مقالات مورد استفاده قرار گرفتند. انتخاب این بازه‌ی زمانی به‌دلیل افزایش توجه جهانی و ملی به سیاست‌های کیفیت هوا، تشدید استانداردهای آلاینده‌ی، اصلاح سیاست‌های سوخت و توسعه راهکارهای کم‌کربن در دهه‌ی اخیر در کشورهای ایران، مکزیک، انگلستان و چین، سنگاپور، آلمان و اسلو صورت گرفته است.

کلیدواژه‌هایی نظیر «حمل‌ونقل شهری»، «آلودگی هوا»، «مصرف سوخت»، «سیاست‌های کاهش انتشار»، «ابزارهای سیاستی حمل‌ونقل»، «مناطق کم‌انتشار»، «استانداردهای سوخت»، «استانداردهای آلاینده‌ی خودرو» و «کیفیت هوای شهری» با استفاده از عملگرهای بولی (NOT, AND, OR) در عنوان، چکیده و کلیدواژه‌ها جست‌وجو شدند. ترکیب این کلیدواژه‌ها امکان شناسایی طیف گسترده‌ای از سیاست‌های تنظیمی،

استفاده را تغییر می‌دهد و از این مسیر می‌تواند انتشار آلاینده‌های حاصل از احتراق در محدوده‌های پرتردد شهری را کاهش دهد. برای مثال، یک مطالعه در تهران درباره برقی‌سازی اتوبوس‌های شارژ شبانه، علاوه بر بررسی امکان‌سنجی فنی و اجرایی، پیامدهای زیست‌محیطی ناشی از سناریوهای جایگزینی را نیز گزارش کرده است و نشان می‌دهد برقی‌سازی ناوگان می‌تواند کاهش چشمگیری در آلاینده‌های احتراقی ایجاد کند. به‌کارگیری «مدل پویایی سیستم» به‌عنوان یک سیاست تحلیلی/ترکیبی (حدود ۲۲ درصد از موارد جدول ۱) در نقش «ابزار تصمیم‌سازی» عمل می‌کند و این امکان را به سیاست‌گذار می‌دهد که پیش از اجرا، سناریوهای مختلفی مانند اصلاح قیمت سوخت، نوسازی ناوگان یا مدیریت تقاضای سفر را از نظر انتشارات آلاینده‌ها مقایسه و ارزیابی کند. «توسعه دوچرخه‌سواری» به‌عنوان نمونه‌ای از سیاست‌های رفتاری/مدیریتی (حدود ۱۱ درصد از کل مطالعات) از مسیر تغییر الگوی سفر و جابه‌جایی مد حمل‌ونقل عمل می‌کند. شواهد مطالعه‌ی مناطق مرکزی تهران نشان می‌دهد که گسترش دوچرخه‌سواری می‌تواند به کاهش آلودگی هوا در سطح شهری منجر شود. در مجموع، توزیع سیاست‌های مورد بررسی در جدول ۱ نشان می‌دهد که سیاست‌های اقتصادی و مالی با سهم حدود ۳۳ درصد، پرکاربردترین رویکردهای مقابله با آلودگی هوا در حوزه حمل‌ونقل شهری هستند، در حالی که سیاست‌های تنظیمی و اجرایی (~۲۲ درصد) و تحلیلی/ترکیبی (~۲۲ درصد) نیز نقش قابل‌توجهی در مدیریت جامع آلودگی ایفا می‌کنند (۱۹).

انواع ابزارهای سیاستی

انواع ابزارهای سیاستی در مطالعات منتخب جدول ۱ نشان می‌دهند که اثرگذاری سیاست‌ها به مسیر مداخله آن‌ها وابسته است و هر دسته، «نقطه اهرمی» متفاوتی را هدف می‌گیرد. ابزارهای اقتصادی/مالی (مثل افزایش قیمت سوخت یا قیمت‌گذاری تردد) معمولاً سریع‌تر بر رفتار سفر و مصرف سوخت اثر می‌گذارند و در بسیاری از مطالعات با کاهش کوتاه‌مدت آلودگی همراه بوده‌اند. ابزارهای تنظیمی/اجرایی (مانند معاینه فنی) وقتی پیش از اجرای سخت‌گیرانه دارند، بیشترین اثر را بر کاهش انتشار از ناوگان پراآلاینده نشان می‌دهند و معمولاً در شاخص‌هایی مثل ذرات معلق و دی‌اکسیدنیترژن خروجی

سوخت، عوارض ازدحام و مشوق‌های برقی‌سازی) اختصاص دارد که از مسیر تغییر هزینه و تقاضای سفر عمل می‌کنند. حدود ۱۱ درصد به سیاست‌های فناورانه و ناوگانی مربوط است که با برقی‌سازی ناوگان یا نوسازی وسایل حمل‌ونقل، مستقیماً انتشار آلاینده‌ها را کاهش می‌دهند. سیاست‌های تحلیلی و ترکیبی حدود ۲۲ درصد از مطالعات را شامل می‌شوند و ابزارهایی مانند مدل‌های پویایی سیستم را برای شبیه‌سازی سناریوهای آلاینده‌ی شهری به کار می‌گیرند. در کنار آن، سیاست‌های رفتاری و مدیریتی نیز با سهمی در حدود ۱۱ درصد به رویکردهای تغییر رفتار سفر مانند توسعه دوچرخه‌سواری اشاره دارند. در نهایت، سیاست‌های تنظیمی و اجرایی با فراوانی حدود ۲۲ درصد (مانند طرح‌های محدودیت تردد و معاینه فنی خودروها) از طریق الزام و کنترل مستقیم فعالیت‌های حمل‌ونقل عمل می‌کنند. این توزیع نشان می‌دهد که سیاست‌های اقتصادی هنوز محور غالب در مطالعات مرتبط با کاهش آلاینده‌های حمل‌ونقل شهری هستند، اما ترکیب سیاست‌های فناورانه، تنظیمی و رفتاری می‌تواند برای دستیابی به اثرگذاری پایدارتر ضروری باشد (۸).

از منظر سیاست‌گذاری اقتصادی، «افزایش قیمت سوخت» یکی از ابزارهای شناخته‌شده برای مدیریت تقاضای سفر با خودروی شخصی و کاهش مصرف سوخت به‌شمار می‌آید و می‌تواند با اثرگذاری بر رفتار سفر شهروندان و کاهش کیلومتری‌پیمایش، به کاهش غلظت آلاینده‌های شهری بینجامد. برای نمونه، نتایج یک مطالعه انجام‌شده درباره‌ی شهر تهران نشان می‌دهد که در کوتاه‌مدت، افزایش قیمت بنزین با کاهش معنادار برخی آلاینده‌های منتسب به حمل‌ونقل همراه بوده است و در این پژوهش به‌طور مشخص CO , $PM_{2.5}$, PM_{10} , SO_2 , CO_2 و NOx مورد بررسی قرار گرفته‌اند. بنابراین، این اقدام مصداق یک «سیاست» در قالب ابزار اقتصادی است، زیرا تصمیم‌سازی درباره قیمت‌گذاری یا مالیات سوخت را به‌کار می‌گیرد و از مسیر تغییر الگوی مصرف انرژی و رفتار سفر، سطح آلاینده‌ی را دگرگون می‌کند (۱۸).

در مقابل، «برقی‌سازی اتوبوس‌های شهری» به‌عنوان یک سیاست فناورانه/ناوگانی (حدود ۱۱ درصد از سیاست‌های بررسی‌شده در جدول)، به‌جای دستکاری متغیرهای قیمتی، به‌طور مستقیم فناوری ناوگان و منبع انرژی مورد

و PM_{10} ذکر می‌شوند، به این معناست که اثر این سیاست از طریق کاهش غلظت این آلاینده‌های ترافیکی (به‌ویژه در بازه کوتاه‌مدت) پیگیری و گزارش شده است و تمرکز ارزیابی بر پیامدهای کیفیت هوای شهری قرار داشته است. هم‌چنین در «معاینه فنی/بازرسی و نگهداری»، انتخاب شاخص‌هایی مانند HC ، CO و NO معمولاً از آن روست که این طرح به‌طور مستقیم‌تر بر انتشار خروجی اگزوز اثر می‌گذارد و نتایج آن غالباً به صورت درصد کاهش انتشار این آلاینده‌های احتراقی خودروها در خروجی مطالعه ارائه می‌شود. «توسعه دوچرخه‌سواری» آلاینده‌هایی مانند CO_2 ، NOx ، SO_2 و $PM_{2.5}$ را گزارش می‌کند، نشان می‌دهد این سیاست هم‌زمان دو نوع نتیجه تولید می‌کند: از یک طرف با کاهش تردد موتور می‌تواند شاخص‌های کیفیت هوای محلی مثل NOx و $PM_{2.5}$ را بهبود دهد و از طرف دیگر با کاهش مصرف سوخت، CO_2 را هم کاهش می‌دهد؛ بنابراین اثر آن در مطالعات، اغلب به‌صورت ترکیبی از بهبود کیفیت هوا و کاهش انتشار انرژی‌محور منعکس می‌شود.

قابل سنجش ایجاد می‌کنند. ابزارهای فناوریانه/ناوگانی (برقی‌سازی و نوسازی) اثرات پایدارتری را هدف می‌گیرند و با کاهش آلاینده‌های احتراقی محلی و بهبود کیفیت هوا در محورهای پرتردد همراه می‌شوند، هرچند میزان موفقیت آن‌ها به زیرساخت انرژی و سرعت جایگزینی ناوگان وابسته است. در نهایت، ابزارهای رفتاری/مدیریتی (مثل توسعه دوچرخه‌سواری و مدیریت تقاضای سفر) زمانی نتایج پررنگ‌تری نشان می‌دهند که بتوانند جابجایی مد سفر را در مقیاس قابل توجه ایجاد کنند و در این حالت، کاهش آلاینده‌ها از مسیر کاهش حجم تردد رخ می‌دهد. جمع‌بندی نتیجه‌محور این است که سیاست‌های تک‌ابزاری معمولاً اثر محدودتر و شکننده‌تری دارند، اما ترکیب ابزارهای اقتصادی+تنظیمی+فناورانه+رفتاری در مطالعات، بیشترین پتانسیل را برای کاهش پایدار آلاینده‌های هوا در حمل‌ونقل شهری نشان می‌دهد.

آلاینده شاخص

در جدول ۱، «آلاینده» مشخص می‌کند هر سیاست دقیقاً با کدام خروجی قابل اندازه‌گیری سنجیده شده است و امکان مقایسه نتایج را فراهم می‌سازد. برای نمونه، «افزایش قیمت سوخت» آلاینده‌هایی مانند CO ، NO_2

جدول ۱. مقایسه سیاست‌ها و ابزارهای کاهش آلاینده‌های هوا ناشی از مصرف سوخت در حمل‌ونقل شهری و اثرات گزارش شده در مطالعات منتخب

منابع	کاهش آلاینده	اثر گزارش شده	شهر	نوع ابزار سیاستی	سیاست
(۸)	CO_2 ، NO_2 ، PM_{10}	در کوتاه‌مدت با افزایش قیمت بنزین، کاهش غلظت برخی آلاینده‌ها گزارش شده	تهران (ایران)	اقتصادی/مالی (قیمت‌گذاری)	افزایش قیمت سوخت
(۲۰)	انرژی/انتشار	امکان‌سنجی برقی‌سازی اتوبوس و پیامدهای انرژی/انتشار در سناریوها	تهران (ایران)	فناورانه/ناوگان	برقی‌سازی اتوبوس‌های شهری (امکان‌سنجی و کاهش آلاینده‌ها)
(۲۱)	NOx	مقایسه سناریوها و تحلیل پویای رفتار انتشار NOx در سیستم شهری	تهران (ایران)	ترکیبی (تحلیلی/برنامه‌ریزی سیاستی)	مدل پویایی سیستم برای تحلیل سیاست‌ها/سناریوهای آلاینده‌های شهری
(۲۲)	NOx ، CO_2 ، $PM_{2.5}$ ، SO_2	کاهش آلودگی هوا با توسعه دوچرخه‌سواری در مناطق مرکزی	تهران (ایران)	رفتاری/مدیریتی (مدیریت تقاضا)	توسعه دوچرخه‌سواری (به‌عنوان حمل‌ونقل غیر موتوری)
(۲۳)	NO ، CO ، HC	پتانسیل کاهش انتشار در سناریوی محافظه‌کارانه	مونتری (مکزیک)	تنظیمی/اجرایی	معاینه فنی/بازرسی و نگهداری خودرو
(۲۴)	$PM_{2.5}$ ، NO_2	کاهش قابل توجه آلاینده‌ها در منطقه محدود شده پس از اجرای طرح	لندن (انگلستان)	تنظیمی/اجرایی	محدودیت تردد بر اساس آلاینده
(۲۵)	PM_{10} ، NO_2	کاهش موقت در غلظت آلاینده‌ها و تغییر در الگوی سفر	پکن (چین)	تنظیمی/اجرایی	ترافیک بر اساس شماره پلاک در روزهای زوج/فرد
(۲۶)	NOx ، CO_2	کاهش ترافیک و به تبع آن کاهش مصرف سوخت و آلاینده‌ها	سنگاپور	اقتصادی/مالی	عوارض تراکم
(۲۷)	NOx ، CO_2	کاهش انتشار در مقایسه با تاکسی‌های دیزلی/بنزینی	برلین (آلمان)	اقتصادی/مالی (مشوق‌ها)	برقی‌سازی ناوگان تاکسی
(۲۷)	NOx ، CO_2	افزایش سهم بازار خودروهای برقی و کاهش انتشار سرانه	نروژ (اسلو)	ترکیبی (تحلیلی/برنامه‌ریزی سیاستی)	یارانه‌های دولتی برای خودروهای برقی

این دسته از سیاست‌ها با کاهش آلاینده‌های احتراقی در مقیاس شهری همراه هستند و در بسیاری از موارد کاهش آلاینده‌ها در کریدورهای پرتردد شهری گزارش شده است. بر اساس جدول ۲، این نوع ابزار نیز در ۲۰ درصد از مطالعات بررسی شده و نتایج آن وابستگی قابل توجهی به ترکیب تولید برق در شبکه و سرعت جایگزینی ناوگان دارد. ابزارهای رفتاری/مدیریتی (مانند توسعه دوچرخه‌سواری، پیاده‌روی، دورکاری و مدیریت تقاضای سفر) از مسیر تغییر رفتار سفر و جابه‌جایی مد حمل‌ونقل عمل می‌کنند. در صورتی که این سیاست‌ها بتوانند سهم سفرهای غیرموتوری یا حمل‌ونقل عمومی را افزایش دهند، کاهش آلاینده‌های محلی و مصرف سوخت به‌طور هم‌زمان حاصل می‌شود. بر اساس داده‌های جدول ۲، این دسته ابزارها نیز در ۲۰ درصد از مطالعات مورد توجه قرار گرفته‌اند. در نهایت، ابزارهای ترکیبی/تحلیلی (مانند مدل‌های پویایی سیستم و سایر ابزارهای پشتیبان تصمیم) بیشتر برای تحلیل سناریوها و طراحی بسته‌های سیاستی در سیستم‌های پیچیده حمل‌ونقل به کار می‌روند. نتایج این دسته از مطالعات نشان می‌دهد که ترکیب چند ابزار سیاستی می‌تواند اثربخشی بیشتری نسبت به اجرای یک سیاست منفرد در کاهش آلاینده‌های شهری داشته باشد. مطابق جدول ۲، این نوع رویکرد نیز در ۲۰ درصد از مطالعات مورد استفاده قرار گرفته است (۲۸).

مسیرهای اثرگذاری ابزارهای سیاستی کاهش آلاینده‌ها

بر اساس جدول ۲، مطالعات حوزه حمل‌ونقل شهری نشان می‌دهند که هر دسته از ابزارهای سیاستی از «مسیر اثرگذاری» متفاوتی برای کاهش آلاینده‌های هوا استفاده می‌کند و در نتیجه نوع خروجی و شاخص‌های گزارش شده نیز متفاوت است. با توجه به اینکه هر ردیف جدول بیانگر یک مطالعه است، تحلیل توزیع ابزارهای سیاستی نشان می‌دهد که هر یک از دسته‌های سیاستی در حدود ۲۰ درصد از مطالعات مورد بررسی قرار گرفته‌اند. ابزارهای اقتصادی/مالی (مانند افزایش قیمت یا عوارض سوخت و نیز قیمت‌گذاری ازدحام) عمدتاً از مسیر تغییر قیمت نسبی سفر و کاهش تقاضای سفر موتوری عمل می‌کنند. در این رویکرد، با افزایش هزینه استفاده از خودروی شخصی، مصرف سوخت و میزان سفرهای خودرویی کاهش می‌یابد و در نتیجه انتشار گازهای گلخانه‌ای و برخی آلاینده‌های ترافیکی کاهش پیدا می‌کند. مطابق جدول ۲، این دسته ابزارها در ۲۰ درصد از مطالعات مورد استفاده قرار گرفته‌اند و نتایج آن‌ها عمدتاً بر کاهش مصرف سوخت و انتشار CO₂ تأکید دارد. ابزارهای فناوریانه/ناوگانی (مانند برقی‌سازی اتوبوس‌ها، نوسازی ناوگان و جایگزینی فناوری یا سوخت) از طریق تغییر فناوری پیشرفته و منبع انرژی وسایل نقلیه عمل می‌کنند.

جدول ۲. دسته‌بندی ابزارهای سیاستی کاهش آلاینده‌های هوا در حمل‌ونقل شهری بر اساس نوع ابزار سیاستی

نوع ابزار سیاستی	تعریف	نمونه سیاست‌ها	منابع
اقتصادی/مالی	اثرگذاری از مسیر قیمت‌ها، هزینه‌های استفاده و انگیزه‌های اقتصادی	افزایش قیمت سوخت، مالیات/عوارض سوخت، قیمت‌گذاری تردد/ازدحام	(۲۹)
فناورانه/ناوگانی	کاهش آلاینده‌گی از طریق تغییر فناوری ناوگان و منبع انرژی	برقی‌سازی اتوبوس‌ها، نوسازی ناوگان، جایگزینی سوخت/فناوری	(۲۸)
تنظیمی/اجرایی	کنترل اجباری از طریق مقررات و اجرای آزمون/پایش و حذف منابع پرآلاینده	معاینه فنی (بازرسی و نگهداری)، استانداردهای آلاینده‌گی، کنترل آگروز	(۳۰)
رفتاری/مدیریتی	کاهش آلاینده‌گی از مسیر تغییر رفتار سفر و جابه‌جایی مد سفر	توسعه دوچرخه‌سواری، دورکاری، مدیریت تقاضای سفر، کاهش سفر با خودروی شخصی	(۳۱)
ترکیبی/تحلیلی (تصمیم‌سازی)	پشتیبانی تصمیم با سناریوسازی و ارزیابی سیاست‌ها در یک سیستم پیچیده	مدل پویایی سیستم، شبیه‌سازی سناریوها، ارزیابی بسته‌های سیاستی	(۳۲)

عوامل اجرایی

برای دستیابی به اثربخشی مؤثر در سیاست‌های کاهش آلودگی هوا در حمل‌ونقل شهری، تحلیل عوامل اجرایی بر اساس جدول ۳ نشان می‌دهد که پنج حوزه اصلی نقش تعیین‌کننده‌ای ایفا می‌کنند. حدود ۱۰ درصد از موفقیت کلی به کیفیت داده و پایش بستگی دارد که با فراهم کردن امکان رصد دقیق و ارزیابی مستمر، به بهبود و اصلاح سیاست‌ها منجر می‌شود. سهم قابل توجه ۳۰ درصد به قانون‌گذاری، اجرا و هماهنگی نهادی اختصاص دارد؛ شدت عمل در اجرای قوانین، اطمینان از عدالت و پذیرش اجتماعی، و انسجام اقدامات نهادهای مختلف، در مجموع باعث کاهش چشمگیر تخلفات و افزایش انطباق‌پذیری با مقررات شده و در نتیجه، تأثیرگذاری سیاست‌ها را به حداکثر می‌رساند. هم‌چنین، حدود ۳۰ درصد از نتایج مطلوب به زیرساخت، فناوری و ناوگان وابسته است؛ آمادگی زیرساختی، کیفیت سوخت و به‌روزرسانی ناوگان، مستقیماً کارایی فناوری‌های کاهنده آلودگی را افزایش داده و منجر به کاهش واقعی انتشار آلاینده‌ها می‌گردد. در ادامه، طراحی و اجرای سیاست با سهم ۲۰ درصد، از طریق ترکیب هوشمندانه ابزارها و بومی‌سازی راهکارها، اثربخشی بلندمدت و جلوگیری از

جابجایی مشکل را تضمین می‌کند. در نهایت، تأمین مالی پایدار با حدود ۱۰ درصد، اطمینان از استمرار و پویایی اجرای تمامی این اقدامات را فراهم کرده و نتایج حاصل از آن‌ها را در طول زمان حفظ می‌نماید. آمادگی زیرساختی شرط لازم برای تحقق سیاست‌های فناورانه و تبدیل برنامه به نتیجه عملیاتی است؛ و هماهنگی نهادی و تأمین مالی پایدار نیز استمرار اجرای سیاست و جلوگیری از توقف‌های مقطعی را تقویت می‌کند. این تبیین با راهنماها و چارچوب‌های مدیریت کیفیت هوا و الزامات پایش و ارزیابی هم‌خوانی دارد. به‌عنوان مثال، در مطالعه صارمی و همکاران (۲۰۱۶)، بر نقش کلیدی سازوکارهای نظارتی و شدت اعمال قانون در تضمین اثربخشی محدودیت‌های ترافیکی تأکید شده است (۳۳). هم‌چنین، یافته‌های پژوهشی که توسط فیروزی و همکاران (۲۰۱۶) انجام شده، نشان می‌دهد که ضعف در هماهنگی نهادی و نبود زیرساخت‌های داده‌محور، از اصلی‌ترین موانع دستیابی به اهداف کاهش آلاینده‌ها در کلان‌شهرها بوده است (۳۴). علاوه بر این، گزارش‌های بیات و همکاران (۲۰۲۰) نیز موید آن است که بدون تأمین مالی پایدار و آمادگی زیرساختی، حتی سیاست‌های کارآمد نیز در مرحله اجرا با ناکارآمدی مواجه می‌شوند (۳۵).

جدول ۳. عوامل کلیدی موفقیت اجرای سیاست‌های کاهش آلاینده‌های هوا در حمل‌ونقل شهری

منابع	راهکار/اقدام اصلاحی پیشنهادی	پیامد محتمل بر اثربخشی	موانع اجرا	عامل اجرایی
(۳۶)	توسعه شبکه پایش و یکپارچه‌سازی داده‌های ترافیک- کیفیت هوا	دشواری سنجش اثر سیاست و کاهش اعتبار نتایج	کمبود/ناپوستگی داده‌ها، ضعف داده تردد/ناوگان	کیفیت داده و پایش
(۳۷)	جریمه پلکانی، کنترل هوشمند	افت اثر سیاست‌های تنظیمی	دور زدن مقررات، جریمه ناکافی، پوشش محدود کنترل	شدت اجرا و اعمال قانون
(۳۸)	بازتوزیع درآمد، هزینه‌کرد سبز، جبران هدفمند	عقب‌نشینی از سیاست یا تضعیف اجرا	فشار بر کم‌درآمدها، مقاومت ذی‌نفعان	پذیرش اجتماعی و عدالت
(۳۹)	برنامه توسعه شارژ و مدیریت بار شبکه	کندشدن برقی‌سازی و افت اثر	کمبود زیرساخت شارژ/ ظرفیت شبکه	آمادگی زیرساختی
(۴۰)	اسقاط هدفمند، نوسازی ناوگان	باقی‌ماندن سهم غالب انتشار	سهم بالای خودروهای فرسوده/ پرآلاینده	ساختار ناوگان و فرسودگی
(۴۱)	ارتقای استاندارد سوخت و پایش توزیع	کاهش کارایی فناوری‌های کنترل آلاینده‌ها و افزایش PM/SO_2	گوگرد بالا/ کیفیت پایین	کیفیت سوخت
(۴۲)	سازوکار بین‌بخشی	اجرای ناقص و سیاست‌های متناقض	چندپارگی مسئولیت‌ها (شهرداری/ پلیس/ محیط‌زیست...)	هماهنگی نهادی
(۴۳)	بسته‌سیاستی (اقتصادی+تنظیمی+ناوگانی+رفتاری) و ارزیابی دوره‌ای	اثر کوتاه‌مدت و جابه‌جایی آلودگی	تک‌ابزاری بودن، اهداف مبهم	طراحی سیاست و ترکیب ابزارها
(۴۴)	پایلوت محلی و بومی‌سازی آستانه‌ها	انتقال‌پذیری پایین سیاست‌ها	تفاوت الگوی سفر/اقلیم/توپوگرافی/اقتصاد شهری	زمینه‌مندی
(۴۵)	اختصاص درآمد سیاست‌ها، صندوق/تأمین مالی اقلیمی	توقف پروژه‌ها و کاهش اثر بلندمدت	نبود منابع پایدار برای نوسازی/پایش/حمل‌ونقل عمومی	تأمین مالی پایدار

موانع اجرا

براساس جدول ۳، موانع اجرا به عواملی اطلاق می‌شود که حتی در صورت انتخاب ابزار سیاستی مناسب، موجب کاهش اثرگذاری یا ناپایداری نتایج می‌شوند. اثربخشی و پایداری سیاست‌های کاهش آلودگی هوا به شدت تحت تأثیر موانع اجرایی قرار دارد که پنج حوزه کلیدی را در بر می‌گیرند: کیفیت داده و پایش (حدود ۱۰٪) با چالش‌هایی چون کمبود داده‌های دقیق، سنجش و اعتبار نتایج را دشوار می‌سازد؛ قانون‌گذاری، اجرا و هماهنگی نهادی (حدود ۳۰٪) با ضعف نظارت، جریمه‌های ناکافی، مقاومت اجتماعی و چندپارگی مسئولیت‌ها، اجرای مؤثر و هماهنگ را مختل می‌کند؛ زیرساخت، فناوری و ناوگان ($\approx 30\%$) از طریق کمبود زیرساخت‌های حیاتی (مانند شارژ)، فرسودگی ناوگان و کیفیت پایین سوخت، پیشرفت برنامه‌های کاهش آلودگی را کند کرده و اثربخشی فناوری‌های نوین را محدود می‌سازد؛ طراحی سیاست و ترکیب ابزارها (حدود ۲۰٪) با اتکا به رویکردهای تک‌ابزاری و عدم بومی‌سازی، منجر به اثرات کوتاه‌مدت و جابه‌جایی آلودگی می‌شود؛ و تأمین مالی پایدار (حدود ۱۰٪) با نبود منابع مالی مستمر، مانع از نوسازی، توسعه و پایش بلندمدت می‌گردد؛ بنابراین، رفع این موانع برای دستیابی به کاهش چشمگیر آلاینده‌ها و تضمین پایداری نتایج ضروری است.

بحث

دستیابی به کاهش پایدار و مؤثر آلودگی هوا در بخش حمل‌ونقل شهری، مستلزم اتخاذ رویکردی جامع و یکپارچه است که بر ترکیب بهینه ابزارهای سیاستی و رفع موانع اجرایی تمرکز دارد. مطالعات نشان می‌دهند که هیچ ابزار سیاستی به تنهایی کافی نیست و اثربخشی بلندمدت تنها از طریق تلفیق سیاست‌های اقتصادی/ مالی، فناورانه/ ناوگانی، رفتاری/ مدیریتی و ترکیبی/ تحلیلی حاصل می‌شود. این ترکیب ابزارها، مسیرهای اثرگذاری متنوعی را پوشش داده و به کاهش طیف وسیعی از آلاینده‌ها کمک می‌کند. با این حال، موفقیت این سیاست‌ها به شدت به کیفیت اجرا و پشتیبانی نهادی وابسته است. عواملی که بیشترین سهم را در تعیین‌کننده‌بودن اثربخشی دارند، شامل قانون‌گذاری، اجرا و هماهنگی نهادی با سهم تقریبی ۳۰٪ و هم‌چنین زیرساخت، فناوری

و ناوگان با سهم ۳۰٪ هستند. این دو حوزه، پایه‌های اصلی عملیاتی شدن سیاست‌ها و تضمین‌کننده کاهش واقعی آلودگی محسوب می‌شوند.

علاوه بر این، طراحی و اجرای سیاست‌ها با سهم ۲۰٪، نقش حیاتی در اثربخشی بلندمدت و جلوگیری از جابه‌جایی مشکلات ایفا می‌کند، در حالی که کیفیت داده و پایش با سهم ۱۰٪ و تأمین مالی پایدار نیز با سهم ۱۰٪، به ترتیب، امکان رصد، ارزیابی، بهبود مستمر و تضمین پایداری نتایج را فراهم می‌سازند. از سوی دیگر، غفلت از موانع اجرایی می‌تواند اثربخشی و پایداری نتایج را به شدت کاهش دهد.

نتیجه‌گیری

ضعف در قانون‌گذاری و هماهنگی نهادی، کمبود زیرساخت و فرسودگی ناوگان، طراحی‌های تک‌بعدی یا نامتناسب با شرایط بومی، و هم‌چنین کاستی در کیفیت داده‌ها و نبود منابع مالی پایدار، همگی به‌عنوان موانعی جدی مطرح هستند که لازم است به‌طور فعال مورد توجه و رفع قرار گیرند تا سرمایه‌گذاری‌های انجام شده در جهت کاهش آلودگی هوا به نتایج مطلوب و ماندگار منجر شود. بنابراین، یک استراتژی موفق نیازمند تعادل بین طراحی سیاستی کارآمد و اجرای قوی و پایدار آن است.

تشکر و قدردانی: این مقاله مروری و خلاصه سیاستی است و به‌صورت مستقل توسط نویسندگان انجام شده است.

تعارض منافع: نویسندگان هیچ‌گونه تعارض منافع با یکدیگر ندارند.

حمایت مالی: این مقاله کاملاً مستقل نوشته شده و هیچ گونه حمایت مالی دریافت نکرده است.

ملاحظات اخلاقی: نویسندگان کلیه نکات اخلاقی شامل عدم سرقت ادبی، انتشار دوگانه، تحریف داده‌ها و داده‌سازی را در این مقاله رعایت کرده‌اند. هم‌چنین هر گونه تضاد منافع حقیقی یا مادی که ممکن است بر نتایج یا تفسیر مقاله تأثیر بگذارد را رد می‌کنند.

سهم نویسندگان: مشارکت نویسندگان محترم در این مقاله به شرح زیر می‌باشد: خانم محدثه زحمت‌کش عبرانی: جمع‌آوری داده‌ها و نگارش مقاله، آقای علی مودی: نگارش مقاله، جناب آقای دکتر ضیاءالدین بنیادی

ارائه‌ی ایده‌ی پژوهشی و طراحی مطالعه، نگارش، بازبینی

و مرور را انجام داده‌اند.

References

- Sicard P, Agathokleous E, Anenberg SC, De Marco A, Paoletti E, Calatayud V. Trends in urban air pollution over the last two decades: A global perspective. *Science of The Total Environment*. 2023;858:160064.
- Liu D, Wang P, Sun Y, Zhang H, Xu S. Co-abatement of carbon and air pollutants emissions in China's iron and steel industry under carbon neutrality scenarios. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. 2024;191:114140.
- Wang S, Song R, Xu Z, Chen M, Di Tanna GL, Downey L, et al. The costs, health and economic impact of air pollution control strategies: a systematic review. *Global Health Research and Policy*. 2024;9(1):30.
- Cushing LJ, Li S, Steiger BB, Casey JA. Historical red-lining is associated with fossil fuel power plant siting and present-day inequalities in air pollutant emissions. *Nature Energy*. 2023;8(1):52-61.
- Morales-Betancourt R, Wilches-Mogollon MA, Sarmiento OL, Molano DM, Angulo D, Filigrana P, et al. Commuter's personal exposure to air pollutants after the implementation of a cable car for public transport: Results of the natural experiment TrUST. *Science of the Total Environment*. 2023;865:160880.
- Fashi M. Air Pollution, Exercise, and Inflammation. *Journal of Gorgan university of medical science*. 2023;24.
- Siavash B. Investigating lichens as bioindicators of determining environmental and air pollution. *Biocontrol in Plant Protection*. 2023;10.
- Raeissi P, Khalilabad TH, Hadian M. The impacts of fuel price policies on air pollution: case study of Tehran. *Environmental Science and Pollution Research*. 2022;29(8):11780-9.
- Pryciński P, Pielecha P, Korzeb J, Pielecha J, Kostrzewski M, Eliwa A. Air pollutant emissions of passenger cars in Poland in terms of their environmental impact and type of energy consumption. *Energies*. 2024;17(21):5357.
- Li S, Wang S, Wu Q, Zhang Y, Ouyang D, Zheng H, et al. Emission trends of air pollutants and CO₂ in China from 2005 to 2021. *Earth System Science Data*. 2023;15(6):2279-94.
- Hevey D, Perko T, Martell M, Bradley G, Apers S, Rovenská KN. A psycho-social-environmental lens on radon air pollutant: authorities', mitigation contractors', and residents' perceptions of barriers and facilitators to domestic radon mitigation. *Frontiers in public health*. 2023;11:1252804.
- Emami H, Rafati A. Monitoring and Comparing Various Approaches for Short-Term Forecasting of Urban Traffic Parameters and Simulation Using GIS (Case Study of the City of London). *Quarterly Journal of Transportation Research*. 2023;4(77).
- Abdolrahmani R, Habibzadeh A, Naderpour M. A Sociological Approach to Traffic Engineering: Investigating the Impacts of Culture and Social Structures on Traffic and Traffic Engineering. 2011;18(5).
- Sharp increase in fuel prices. *Newsletter of the Department of Strategic Studies and Research Center*. 2007;1(6).
- Song P, Mao X, Li Z, Tan Z. Study on the optimal policy options for improving energy efficiency and Co-controlling carbon emission and local air pollutants in China. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. 2023;175:113167.
- Xian B, Xu Y, Chen W, Wang Y, Qiu L. Co-benefits of policies to reduce air pollution and carbon emissions in China. *Environmental Impact Assessment Review*. 2024;104:107301.
- Murad SW, Rahman A, Mohsin A. From policy to progress: Environmental taxation to mitigate air pollution in OECD countries. *Journal of Environmental Management*. 2025;374:124143.
- Shaw C, Hales S, Edwards R, Howden-Chapman P, Stanley J. What can fuel price increases tell us about the air pollution health co-benefits of a carbon price? *Journal of Transport & Health*. 2018;8:81-90.
- Martinez SS, Samaras C. Electrification of transit buses in the United States reduces greenhouse gas emissions. *Environmental Science & Technology*. 2024;58(9):4137-44.
- Abbasi M, Hadji Hosseinlou M. Assessing feasibility of overnight-charging electric bus in a real-world BRT system in the

- context of a developing country. *Scientia Iranica*. 2022;29(6):2968-78.
21. Tahsiri A, Arab M. A system dynamics model for a holistic analysis of urban NO_x emissions: a case study of Tehran, Iran. *Environment, Development and Sustainability*. 2023;25(7):7299-323.
 22. Monazzam MR, Karimi E, Shahbazi H, Shahidzadeh H. Effect of cycling development as a non-motorized transport on reducing air and noise pollution-case study: Central districts of Tehran. *Urban Climate*. 2021;38:100887.
 23. Huertas JI, Mogro AE, Mendoza A, Huertas ME, Ibarra R. Assessment of the reduction in vehicles emissions by implementing inspection and maintenance programs. *International Journal of Environmental Research and Public Health*. 2020;17(13):4730.
 24. Khaksar H, Baharzadeh H, Ashrafy E. Investigating the Relationship between Geometric Properties of Vehicles and Traffic Density. *Journal of Ferdowsi Civil Engineering*. 2022;35.
 25. Tayarani Yousefabadi A, Mahpour A, Javanshir H. Modeling Share Change of Non-Public Vehicles and the Rate of Emissions due to the Implementation of Demand Management Policies. *Journal of Transportation Research*. 2020;17(3).
 26. Mirzahosseini H, Jadid Thani K, Najafi P. A Review of the Impact of Autonomous Vehicles on Congestion Pricing. *Traffic Management Studies Quarterly*. 65-94.
 27. Salehi M, Faghani H. Investigation of Emissions and Energy Consumption of DENA Hybrid The *Journal of Engine Research*. 2020;58:11-6.
 28. Holland SP, Mansur ET, Muller NZ, Yates AJ. The environmental benefits of transportation electrification: Urban buses. *Energy policy*. 2021;148:111921.
 29. Kühnhenrich D. The German Environmental Tax Reform: a difference-in-differences analysis of its impacts in European comparison. *Environmental Economics and Policy Studies*. 2024;26(1):71-99.
 30. Council NR, Board TR, Earth Do, Studies L, Studies BoE, Inspection CoVE, et al. *Evaluating vehicle emissions inspection and maintenance programs: National Academies Press*; 2001.
 31. Millard-Ball A, Reginald M, Yusuf Y, Bian C. Global health and climate benefits from walking and cycling infrastructure. *Proceedings of the National Academy of Sciences*. 2025;122(24):e2422334122.
 32. Farnood A, Eicker U, Cucuzzella C, Gopakumar G, Khorramisarvestani S. Sustainability assessment framework for urban transportation combining system dynamics modeling and GIS; a tod and parking policy approach. *Smart Cities*. 2025;8(4):107.
 33. Saremi NA, Fereydouni H, Khosravi SS. Investigating the Barriers and Challenges of Enforcing Traffic Laws. *Road and Transportation Scientific Quarterly*. 2016:191-220.
 34. Firoozi MA, Deh cheshme MM, Saedi J. Evaluation of Environmental Sustainability Indicators, With emphasis on air pollution and industrial pollutants, Case Study: Ahvaz Metropolis Researches Ecology Urban of *Journal Biannual*. 2016;8:13-28.
 35. Bayat R, Daroudi R, Hassanvand MS. Economic Analysis of the Cost of Deaths Due to Air Pollution in Tehran. *Urban Economics and Planning*. 2020.
 36. WHO. Repository of guidance documents and tools for air quality management systems. 2023.
 37. Kok I. Planning and implementation of low-and zero-emission zones in cities. *International Council on Clean Transportation Pobrano z <https://theicct.org/wp-content/uploads/2023/09/Planning-ZEZs-working-paper-21-A4-v3.pdf>*. 2023.
 38. Veitch E, Rhodes E. A cross-country comparative analysis of congestion pricing systems: Lessons for decarbonizing transportation. *Case studies on transport policy*. 2024;15:101128.
 39. *Grid Integration of Electric Vehicles*. 2022.
 40. Kitano T. Greening vehicle fleets: A structural analysis of scrappage programs during the financial crisis. *International Journal of Industrial Organization*. 2025;103:103203.
 41. EPA. *Global Sulphur Campaign*. 2026.
 42. Breuer A, Leininger J, Malerba D, Tosun J. Integrated policymaking: Institutional designs for implementing the sustainable development goals (SDGs). *World Development*. 2023;170:106317.
 43. Van den Bergh J, Castro J, Drews S, Exadaktylos F, Foramitti J, Klein F, et al. *Designing an effective climate-policy mix:*

accounting for instrument synergy. *Climate Policy*. 2021;21(6):745-64.

44. Alves BB, Mjahed LB, Moody J. Decarbonizing Urban Transport for Development. 2023.

45. Werland S, Rudolph F. Funding and

financing of Sustainable Urban Mobility Measures. 2020.