

“Research article”

DOI: 10.82460/jepsud.2025.1208328

Environmental sustainability assessment of gasoline transportation in Tehran based on per capita carbon footprint and future scenario analysis

Reza Babaei¹, Behzad Norouzi², Delaram Garshasbi^{3,*}, Pourya Pirmoradi³

¹Department of Urban Planning, Qa.C., Islamic Azad University, Qazvin, Iran

²Department of Urban Planning, ShQ.C., Islamic Azad University, Tehran, Iran

³Department of Urban Planning, CT.C., Islamic Azad University, Tehran, Iran

*Corresponding author: delaramgarshasbi@gmail.com

(Received: 31 May 2025, Accepted: 13 July 2025)

Abstract

Air pollution and carbon dioxide emissions, as major and destructive impacts of urban transportation, have directly contributed to global warming. Since air pollution resulting from the uncontrolled expansion of gasoline-based transportation is a significant issue in Tehran, assessing environmental sustainability through carbon footprint calculation is essential. Accordingly, this applied research adopts a mixed-method approach to evaluate the environmental sustainability of gasoline transportation in Tehran using the per capita carbon footprint index and to analyze future scenarios over the next 15 years. Initially, data on gasoline consumption in Tehran's urban transportation sector were collected using the library research method. Based on this data, the per capita carbon footprint from gasoline consumption was calculated to be 5.58 m² per person. Comparative analysis revealed that this figure is 12 times higher than the global standard and thus environmentally unsustainable. The study then identified key driving forces and analyzed scenarios using ScenarioWizard software. The catastrophic scenario projected that if the current trend continues until 2041 (1420 in the Iranian calendar), the per capita carbon footprint will increase by over 66%, reaching 11.52 m² more than 23 times the global standard. In contrast, the ideal scenario indicated that implementing appropriate policies could reduce the per capita ecological footprint to 0.25 m² (half the global standard) by 2041. This study is limited to the assessment of the per capita carbon footprint of gasoline transportation in Tehran and, in this regard, can serve as a model for future research addressing other environmental pollutants, transportation patterns, and urban areas.

Conflict of interest: None declared.

Keywords: Sustainable development, Sustainable mobility, Urban transportation, Ecological footprint



دوره ۲، شماره ۱، پیاپی ۵

بهار ۱۴۰۴، صفحات ۶۶-۵۱

دانشگاه آزاد اسلامی واحد تبریز
فصلنامه آلودگی‌های محیطی و توسعه پایدار شهری

DOI: 10.82460/jepsud.2025.1208328

«مقاله پژوهشی»

ارزیابی پایداری زیست‌محیطی حمل و نقل بنزینی در تهران بر اساس سرانه رد پای کربن و بررسی سناریوهای پیش‌رو

رضا بابایی^۱، بهزاد نوروزی^۲، دلارام گرشاسبی^{۳*}، پوریا پیرمرادی^۳

^۱ دانشجوی دکتری شهرسازی، گروه شهرسازی، واحد قزوین، دانشگاه آزاد اسلامی، قزوین، ایران

^۲ دانش‌آموخته کارشناسی ارشد برنامه‌ریزی شهری، گروه شهرسازی، واحد شهر قدس، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران

^۳ دانش‌آموخته کارشناسی ارشد طراحی شهری، گروه شهرسازی، واحد تهران مرکزی، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران

*پست الکترونیکی نویسنده مسئول: delaramgarshasbi@gmail.com

(دریافت مقاله: ۱۴۰۴/۰۳/۱۰، پذیرش نهایی: ۱۴۰۴/۰۴/۲۲)

چکیده

آلودگی هوا و انتشار کربن دی‌اکسید به عنوان یکی از آثار مخرب و عمده حمل و نقل شهری، به طور مستقیم به گرمایش جهانی منجر گردیده است. از آنجا که آلودگی هوای ناشی از گسترش بی‌رویه حمل و نقل بنزینی یکی از مسائل اصلی شهر تهران است، ارزیابی پایداری زیست‌محیطی از طریق محاسبه رد پای کربن ضروری است. از این رو تحقیق کاربردی حاضر با روش ترکیبی به ارزیابی پایداری زیست‌محیطی حمل و نقل بنزینی در تهران با استفاده از شاخص سرانه رد پای کربن پرداخته است و سناریوهای پیش‌رو را برای ۱۵ سال آینده مورد بررسی قرار داده است. این مقاله ابتدا از طریق روش کتابخانه‌ای داده‌های مربوط به مصرف بنزین در حمل و نقل شهری تهران را جمع‌آوری کرده و سپس سرانه رد پای کربن ناشی از مصرف بنزین در این شهر را محاسبه نموده که معادل ۵/۵۸ مترمربع برای هر نفر است. مقایسه‌ها نشان داد که این میزان ۱۲ برابر استاندارد جهانی و از نظر زیست‌محیطی ناپایدار است. این تحقیق در ادامه با تدوین پیش‌ران‌ها به بررسی و تحلیل سناریو در نرم‌افزار سناریو ویزارد پرداخته است. سناریو فاجعه‌بار نشان داد که ادامه روند فعلی تا سال ۱۴۲۰ منجر به افزایش بیش از ۶۶ درصدی سرانه رد پای کربن خواهد شد و این شاخص به ۱۱/۵۲ مترمربع خواهد رسید که این میزان بیش از ۲۳ برابر استاندارد جهانی است. اما سناریو ایده‌آل نشان داد که با اجرای سیاست‌های مناسب می‌توان سرانه رد پای بوم‌شناختی را تا سال ۱۴۲۰ به ۰/۲۵ مترمربع (یک دوم استاندارد جهانی) کاهش داد. مقاله حاضر محدود به ارزیابی سرانه رد پای کربن حمل و نقل بنزینی در تهران بوده است و از این حیث می‌تواند الگویی برای تحقیقات آتی جهت ارزیابی سایر آلاینده‌های محیط زیست، سایر الگوهای حمل و نقلی و سایر شهرها باشد.

واژه‌های کلیدی: توسعه پایدار، تحرک پایدار، حمل و نقل شهری، رد پای بوم‌شناختی

مقدمه

یکی از اصلی‌ترین دلایل گرمایش زمین و تغییرات آب و هوایی در دهه‌های اخیر، اثرات زیست‌محیطی ناشی از حمل و نقل در کلان‌شهرها است. اگر بپذیریم که کلان‌شهرها به‌عنوان محرک‌های اقتصاد جهانی عمل می‌کنند، در این صورت، سیستم حمل و نقل مسئول حفظ و کارآمد نگه داشتن این محرک‌ها است. در مقابل، عدم کارایی در سیستم حمل و نقل شهری می‌تواند منجر به عواقب زیست‌محیطی و پیامدهای منفی اقتصادی و اجتماعی شود که در نهایت به کاهش کارایی عملکرد شهر منتهی می‌گردد (۱). حمل و نقل به‌عنوان یکی از ارکان اساسی شهرها، نه تنها یک نیاز ضروری برای جابه‌جایی افراد و کالاها شناخته می‌شود، بلکه به‌عنوان یک مصرف‌کننده عمده انرژی و یک منبع اصلی آلودگی محیط زیست نیز مطرح است (۲). این سیستم معمولاً شامل انواع مختلف وسایل حمل و نقل می‌شود و با استفاده از روش‌های متنوع، امکان جابه‌جایی را فراهم می‌آورد (۳).

رشد اقتصادی و گسترش روابط تجاری جهانی به افزایش قابل توجهی در فعالیت‌های حمل و نقل منجر شده است. این افزایش فعالیت‌ها به بروز اثرات منفی خارجی متعددی مانند آلودگی صوتی، آلاینده‌های جوی و حوادث ناگهانی منجر می‌شود. علاوه بر این، حمل و نقل شهری به‌طور فزاینده‌ای مقادیر زیادی کربن دی‌اکسید منتشر می‌کند که تأثیر قابل توجهی بر تغییرات اقلیمی ناشی از فعالیت‌های انسانی دارد (۴). شهر تهران نیز از این قاعده مستثنا نیست. در سال‌های اخیر، گسترش افقی، افزایش تراکم و رشد جمعیت در شهر تهران به‌طور چشمگیری افزایش یافته است. این روند به دلیل مهاجرت‌های فزاینده به این کلان‌شهر،

به‌شدت تسریع شده و به‌تبع آن، تعداد سفرها و مصرف سوخت‌های فسیلی، نظیر بنزین، به طرز بی‌سابقه‌ای افزایش یافته است. تهران به‌عنوان یکی از پرجمعیت‌ترین و پرتراکم‌ترین شهرهای جهان، در حال حاضر روزانه بیش از ۲۱ میلیون لیتر بنزین برای حمل و نقل مصرف می‌کند. این آمار نه تنها بیانگر چالش‌های مربوط به ترافیک و آلودگی هوا است، بلکه نشان‌دهنده فشار قابل توجهی بر منابع طبیعی و اکوسیستم‌های شهری است.

از این‌رو هدف اصلی این تحقیق ارزیابی پایداری زیست‌محیطی حمل و نقل بنزینی در تهران از طریق مقایسه سرانه رد پای کربن با استاندارد جهانی آن و بررسی سناریوهای پیش رو تا ۱۵ سال آینده است. تحلیل دقیق این موضوع می‌تواند به شناسایی نقاط ضعف و قوت سیستم حمل و نقل شهری کمک کرده و راهکارهای مؤثری برای کاهش اثرات منفی آن ارائه دهد. با توجه به چالش‌های موجود، نتایج این تحقیق می‌تواند به‌عنوان مبنای تصمیم‌گیری برای سیاست‌گذاران و برنامه‌ریزان شهری در راستای ایجاد یک سیستم حمل و نقل پایدار و کاهش اثرات مخرب آن بر محیط زیست و سلامت عمومی مورد استفاده قرار گیرد.

مفهوم حمل و نقل پایدار به یکی از موضوعات محوری در تحقیقات و مطالعات تبدیل شده است. بر اساس نظر کمیته تحقیقات حمل و نقل، حمل و نقل پایدار باید به ارزیابی پدیده‌های مرتبط و مؤثر بر حمل و نقل توجه کند، از جمله تأثیرات جوی، کاهش ذخایر سوخت‌های فسیلی، کیفیت هوای منطقه، تلفات و جراحات، ازدحام، تأثیرات بیولوژیکی و عدالت اجتماعی (۵). حمل و نقل پایدار از طریق بهبود کیفیت

هوا و افزایش امنیت و ایمنی، می تواند بهره‌وری را در سایر بخش‌ها نیز افزایش دهد (۶). به همین دلیل، شناسایی و ارزیابی شاخص‌های مربوط به حمل و نقل پایدار در شهرها ضروری است تا اطمینان حاصل شود که سیستم حمل و نقل به سمت پایداری حرکت می‌کند و در صورت لزوم از ابزارهای کنترلی مناسب استفاده شود (۲).

یکی از پرکاربردترین ابزارها برای ارزیابی پایداری زیست محیطی، شاخص رد پای بوم‌شناختی است. این شاخص به ارزیابی تقاضای انسان از طبیعت می‌پردازد و به عنوان ابزاری محاسباتی برای اندازه‌گیری فشار فعالیت‌های انسانی بر روی زیست‌کره عمل می‌کند (۷). رد پای بوم‌شناختی تقاضای انسان را با توانایی کره زمین در پاسخ به این تقاضاها مقایسه می‌کند و به این ترتیب، تأثیرات فعالیت‌های انسانی بر روی زمین را سنجش می‌کند (۸).

این شاخص به طور خاص مقدار ناحیه‌ای را مشخص می‌کند که برای جذب ضایعات و آلودگی تولیدشده توسط انسان نیاز است (۹) و به این سؤال پاسخ می‌دهد که چه میزان از ظرفیت تولیدی زیست‌کره تحت تأثیر فعالیت‌های انسانی قرار گرفته است (۱۰-۱۲). به عبارت دیگر، رد پای بوم‌شناختی می‌تواند به وضوح نشان دهد که مصرف انرژی و بهره‌برداری از منابع طبیعی به طور مستقیم با اراضی اختصاص داده شده به هر یک از کاربری‌ها در سطح شهر، منطقه یا کشور مرتبط است و می‌تواند مورد ارزیابی قرار گیرد (۱۳).

تجزیه و تحلیل رد پای بوم‌شناختی می‌تواند در مقیاس‌های مختلفی از جمله محصول، فرد، مؤسسه، شهر، کشور و حتی سطح جهانی انجام شود (۱۴). یکی از نسخه‌های مهم این شاخص، مساحت مورد نیاز برای جذب کربن تولیدشده توسط یک شهر یا کشور است. به طور کلی، یک رد پای بوم‌شناختی بزرگ‌تر نشان‌دهنده مصرف بالاتر منابع و بنابراین تأثیر منفی بیشتر بر محیط زیست است (۱۵).

در سال‌های اخیر، تحقیقات متعددی در زمینه ارزیابی پایداری زیست محیطی با استفاده از روش رد پای بوم‌شناختی انجام شده است. یکی از جدیدترین و مهم‌ترین این پژوهش‌ها، تحقیق نصیر موریس^۱ و همکاران در سال ۲۰۲۴ است که رد پای بوم‌شناختی در پردیس دانشگاه جوبا در سودان جنوبی را ارزیابی می‌کنند. بر اساس نتایج مطالعه، رد پای بوم‌شناختی سرانه آب، انرژی، حمل و نقل، غذا، زباله و زمین‌های ساخته شده در دانشگاه از نظر زیست محیطی پایدار بود (۱۶).

در تحقیق دیگری سیگتی^۲ و همکاران در سال ۲۰۲۳ یک الگوی محاسبه استاندارد و در دسترس برای اندازه‌گیری رد پای بوم‌شناختی کربن ناشی از مواد به کاررفته در پروژه‌های ساختمانی در مجارستان ارائه کرده‌اند. این مدل به سیاست‌گذاران و تصمیم‌گیرندگان کمک می‌کند تا مسیرهای توسعه شهری را با توجه به اثرات زیست محیطی آن‌ها تعیین کنند و به این ترتیب، به سمت توسعه پایدار حرکت نمایند (۱۷).

در پژوهش دیگری که توسط گیل^۳ و همکاران در سال ۲۰۲۳ انجام شد، تأثیر توسعه اقتصادی در پاکستان

^۱ Nasir Morris

^۲ Szigeti

^۳ Gill

بین سال‌های ۱۹۸۰ تا ۲۰۱۸ بر شاخص رد پای بوم‌شناختی مورد بررسی قرار گرفت. نتایج این تحقیق نشان می‌دهد که توسعه اقتصادی در این دوره به افزایش مصرف انرژی منجر شده و در نتیجه، رد پای بوم‌شناختی در این کشور به‌طور چشمگیری افزایش یافته است. این یافته‌ها بر اهمیت توجه به پایداری زیست‌محیطی در فرآیندهای توسعه اقتصادی تأکید می‌کند (۱۸).

تحقیقی مشابه توسط تمیتوپ دادا^۱ و همکاران در سال ۲۰۲۲ صورت گرفت که تأثیر توسعه اقتصادی بین سال‌های ۱۹۹۱ تا ۲۰۱۷ بر شاخص رد پای بوم‌شناختی کشورهای آفریقایی را بررسی کردند. این پژوهش نشان می‌دهد که بین توسعه اقتصادی رسمی و غیررسمی در این کشورها رابطه‌ای مستقیم وجود دارد که می‌تواند به درک بهتر از چالش‌های پایداری زیست‌محیطی در این مناطق کمک کند (۱۹).

در پژوهش دیگری، نان^۲ و همکاران در سال ۲۰۲۲ به تجزیه و تحلیل شاخص رد پای بوم‌شناختی انرژی در کشور چین بر اساس چرخه کربن پرداختند. نتایج این تحقیق بیانگر آن است که سرانه رد پای بوم‌شناختی انرژی در حال افزایش و سرانه ظرفیت زیستی انرژی در حال کاهش است. این تغییرات می‌تواند نشان‌دهنده چالش‌های جدی برای توسعه پایدار در چین باشد و ضرورت توجه به راهکارهای مؤثر در مدیریت انرژی را نمایان می‌کند (۲۰).

با توجه به این تحقیقات، به‌وضوح مشخص می‌شود که روش رد پای بوم‌شناختی به‌عنوان یک ابزار کمی با سازوکاری مشخص، قابلیت بالایی در ارزیابی پایداری

زیست‌محیطی دارد. پژوهش‌هایی که از این تکنیک بهره‌برداری کرده‌اند، به‌طورکلی کاربردی بوده و به‌صورت خاص به قلمرو مکانی و زمانی خود وابسته هستند. با این حال، علی‌رغم اهمیت بالای استفاده از حمل و نقل بنزینی در شهر تهران و این واقعیت که بسیاری از این وسایل نقلیه فاقد استانداردهای بین‌المللی هستند، تاکنون تحقیقی جامع برای ارزیابی پایداری زیست‌محیطی این الگوی حمل و نقل و محاسبه سرانه رد پای بوم‌شناختی آن به انجام نرسیده است. این شکاف پژوهشی نیازمند توجه و بررسی جدی است و پژوهش حاضر تلاش می‌کند تا این خلأ را پر کند.

روش تحقیق

قلمرو پژوهش، شهر تهران، پرجمعیت‌ترین شهر و پایتخت کشور ایران، مرکز استان تهران و شهرستان تهران است. جمعیت تهران در سال ۱۴۰۳ معادل ۱۳ میلیون ۳۰۰ هزار نفر برآورد می‌گردد (۲۱). همچنین تهران ۷۳۰ کیلومتر مربع مساحت دارد. گستره کنونی تهران از ارتفاع ۹۰۰ تا ۱۸۰۰ متری از سطح دریا امتداد یافته است؛ این ارتفاع از شمال به جنوب کاهش می‌یابد. تهران دارای شبکه متراکم بزرگراهی است و این شبکه به تعداد زیادی از خیابان‌ها و جاده‌ها متصل می‌شود. سفر با خودروی شخصی در تهران رایج است و شهروندان تمایل زیادی به استفاده از خودروی شخصی دارند. ترافیک تهران نیز وضعیت مناسبی ندارد و گاهی بحرانی خوانده شده است. شمار خودروها و وسایل نقلیه شخصی در شهر تهران به‌صورت روزافزون در حال افزایش است و این

¹ Temitope Dada

² Nan

موضوع به یکی از مشکلات مهم این کلان شهر تبدیل شده است. همچنین تهران از آلودگی هوا رنج می برد. عوامل آلودگی هوای تهران شامل عوامل جغرافیایی همانند اثر محصورکننده کوه ها، وسایل نقلیه نظیر خودروها و موتورسیکلت ها، سوخت خانه ها و آلودگی حاصل از کارخانه ها می شود. کیفیت پایین بنزین عرضه شده در ایران جزو اصلی ترین دلایل آلودگی هوای تهران است.

داده های مورد نیاز از جمله میزان مصرف بنزین حمل و نقل شهری در تهران با روش کتابخانه ای و از طریق مطالعه اسناد و گزارش های موجود و مراجعه به سازمان های مربوطه گردآوری گردیده است. سپس با استفاده از روش رد پای بوم شناختی ابتدا سرانه مصرف سوخت حمل و نقل بنزینی در تهران از طریق فرمول (۱) محاسبه گردیده است (۲۲):

$$E_{(1)} = \frac{s}{m} \quad (1)$$

بنزین مصرفی توسط حمل و نقل درون شهری تهران s
جمعیت شهر تهران m
سرانه مصرف روزانه بنزین برای هر نفر به لیتر E

در ادامه جهت محاسبه سرانه رد پای بوم شناختی کربن برای حمل و نقل بنزینی در تهران از فرمول (۲) استفاده گردیده است (۲۳):

$$EF = \frac{E \times 33,023 \times 10^{-9} \times 19.95}{1.8} \quad (2)$$

سوخت بنزین در یک لیتر، حدوداً ۳۳۰۲۳ واحد گرمایی بریتانیا^۱ تولید می کند. ۱۹/۹۵ تن کربن در هر میلیارد واحد گرمایی بریتانیا آزاد می شود (۱۳). سالانه برای جذب ۱/۸ تن کربن، یک هکتار زمین نیاز است (۲۴).

- سرانه یا متوسط رد پای بوم شناختی EF

رد پای بوم شناختی روش تلفیقی است که از ترکیب دو روش تفصیلی و قیاسی تشکیل شده است و از طریق محاسبات کمی به تجزیه و تحلیل پایداری زیست محیطی حمل و نقل بنزینی در تهران می پردازد. از این رو در ادامه به منظور ارزیابی میزان پایداری زیست محیطی حمل و نقل بنزینی در تهران، سرانه رد پای به دست آمده را با سرانه استاندارد جهانی که توسط سازمان جهانی محیط زیست و سازمان جهانی رد پا^۲ (GFN) ارائه شده، مقایسه شده است.

پس از آن، بر اساس داده های به دست آمده پیشران ها از طریق بررسی اسناد، برنامه ها، مقررات و نظر کارشناسان تدوین و تعریف گردیده است. در گام بعدی این پیشران ها با روش مقایسه زوجی در نرم افزار سناریو ویزارد^۳ بر اساس درصد اثرگذاری بر تولید کربن ارزیابی شده و چهار سناریو ایده آل، مطلوب، قابل قبول و فاجعه بار مشخص گردیده است. در نهایت نیز تحلیل هر یک از سناریوها ارائه شده است. نوآوری تحقیق حاضر در ترکیب و تلفیق ارزیابی زیست محیطی (تکنیک رد پای بوم شناختی) و آینده پژوهی (ارزیابی سناریو) برای حمل و نقل بنزینی در شهر تهران است که در جست و جوی صورت گرفته، مورد مشابهی یافت نشده است.

² Global Footprint Network

³ Scenario Wizard

¹ British Thermal Unit

نتایج و بحث

- محاسبه رد پای کربن وسایل نقلیه بنزین سوز

بر مبنای داده‌های به‌دست‌آمده روزانه ۲۱ میلیون لیتر بنزین در سیستم حمل و نقل شهر تهران مصرف می‌شود (۲۵). در جدول (۱) میزان مصرف روزانه بنزین و جمعیت شهر تهران ذکر گردیده است.

جدول (۱): میزان مصرف بنزین و جمعیت شهر تهران

میزان مصرف بنزین در شهر تهران	جمعیت شهر تهران در سال ۱۴۰۳
۲۱ میلیون لیتر	۱۴۴۲۵۰۰۰ نفر

بر این اساس سرانه مصرف بنزین وسایل نقلیه بنزین سوز در تهران از طریق زیر محاسبه گردیده است.

$$\frac{22000000}{14425000} = 1.52$$

در واقع، ۱/۵۲ لیتر سرانه مصرف روزانه بنزین وسایل نقلیه بنزین سوز، در شهر تهران است. با توجه به این‌که سوخت بنزین در یک لیتر، حدوداً ۳۳۰۲۳ واحد گرمایی بریتانیا تولید می‌کند که در نتیجه ۱۹/۹۵ تن کربن در هر میلیارد واحد گرمایی بریتانیا آزاد می‌شود. در نتیجه:

$$1.578 \times 33,023 \times 10^{-9} = 50,364.36 \times 10^{-9}$$

$$\rightarrow 50,364.36 \times 10^{-9} \times 19.95 = 10 \times 10^{-4}$$

با توجه به این نکته که سالیانه برای دفع هر ۱/۸ تن کربن، ده هزار مترمربع زمین موردنیاز است، بنابراین:

$$\frac{10.40 \times 10^{-4}}{1.8} = 5.58 \times 10^{-4} \text{ (ha)}$$

نتایج محاسبات در جدول (۲) ارائه گردیده است.

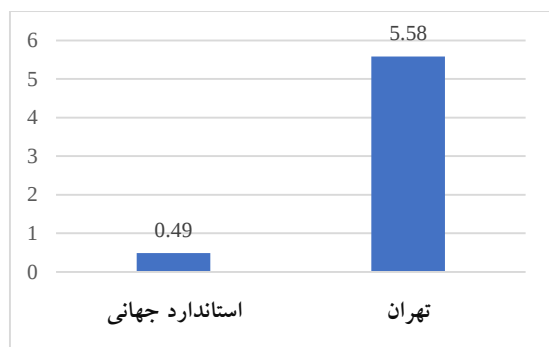
جدول (۲): نتایج محاسبات

سرانه رد پای کربن برای حمل و نقل بنزینی سرانه مصرف بنزین در شهر تهران	روزانه برای هر فرد
۵/۵۸ مترمربع برای هر نفر	۱/۵۲ لیتر

بنابراین، مقدار زمینی که به منظور تأمین سرانه روزانه مصرف بنزین وسایل نقلیه بنزین سوز در شهر تهران مورد نیاز است، برابر با ۵/۵۸ مترمربع برای هر نفر است. این در حالی است که استاندارد جهانی سرانه رد پای کربن وسایل نقلیه بنزین سوز ۰/۴۹ است (۲۶). در جدول (۳) و شکل (۱) سرانه رد پای کربن وسایل نقلیه بنزین سوز در شهر تهران برحسب مترمربع با استاندارد جهانی آن مقایسه شده است.

جدول (۳): مقایسه سرانه رد پای کربن حمل و نقل بنزینی در

شهر تهران با استاندارد جهانی برحسب مترمربع	سرانه رد پای کربن برای حمل و نقل بنزینی استاندارد جهانی
در شهر تهران	در شهر تهران
۵/۵۸ مترمربع	۰/۴۹ مترمربع



شکل (۱): مقایسه سرانه رد پای کربن حمل و نقل بنزینی در شهر تهران با استاندارد جهانی برحسب مترمربع

مقایسه سرانه رد پای کربن وسایل نقلیه بنزین سوز در شهر تهران با استاندارد جهانی که سازمان جهانی رد پای بوم‌شناختی ارائه داده است، نشان داد که این سرانه برای شهر تهران بسیار بالاتر از استاندارد جهانی (۱۲)

برابر) است. در نتیجه باید گفت که از نظر زیست محیطی با اختلاف زیادی ناپایدار است.

- تدوین پیشرانها

در این بخش ۶ مورد از محتمل ترین و اصلی ترین پیشرانها بر اساس مطالعات اسناد و منابع موجود شامل برنامه ها، مصوبات و مقررات در این حوزه و نظر کارشناسان استخراج گردیده است.

الف) افزایش تعداد خودروهای فرسوده

بنا بر اطلاعات به دست آمده از استانداری تهران در شهر تهران ۴۰ درصد از وسایل نقلیه فرسوده اند و تا سال ۱۴۲۰ تمام خودروهایی که امروز مورد استفاده قرار می گیرند فرسوده خواهند شد. با توجه به اینکه هر وسیله نقلیه فرسوده به طور میانگین تقریباً ۳۰ درصد بیشتر بنزین مصرف می کند (۲۷)، بنابراین با افزایش ۱۸ درصدی تولید کربن سرانه رد پای کربن به ۶/۵۸ مترمربع خواهد رسید.

ب) افزایش تعداد کل خودروها

همچنین در ۵ سال گذشته به طور میانگین سالانه ۵ درصد به تعداد کل وسایل نقلیه بنزین سوز از طریق واردات یا تولید افزوده می شود (۲۸). به عبارتی ۷۵ درصد به تعداد وسایل نقلیه بنزین سوز کنونی افزوده می شود که این میزان سرانه رد پای کربن کنونی را به ۹/۷۶ مترمربع افزایش خواهد داد.

پ) حذف وسایل نقلیه فرسوده تا سال ۱۴۲۰

اگر تا سال ۱۴۲۰ تمام وسایل نقلیه ای که به سن فرسودگی میانگین ۱۵ سال می رسند (تا سال ۱۴۲۰ پنجاه و چهار درصد از کل وسایل نقلیه بنزین سوز فرسوده خواهند بود) کنار گذاشته شوند، سرانه رد پای کربن حمل و نقل بنزینی در شهر تهران ۴۰ درصد کمتر از وضع موجود خواهد بود یعنی ۳/۳۴ مترمربع.

ت) جایگزینی با وسایل نقلیه کم مصرف تا سال ۱۴۲۰

متوسط مصرف وسایل نقلیه بنزین سوز در ایران نزدیک سه برابر مصرف استاندارد جهانی است؛ در حال حاضر خودروها در ایران ۱۲ لیتر مصرف بنزین دارند (۲۹). اگر به جای تولید و واردات خودروهای پرمصرف کنونی متوسط سوخت تمام خودروهای جدید تولیدی و وارداتی به ۴ لیتر در هر ۱۰۰ کیلومتر برسد، سرانه رد پای اکولوژیک هر وسیله نقلیه بنزین سوز جدید ۶۶ درصد کاهش پیدا می کند که با جایگزینی خودروهای کنونی با خودروهای کم مصرف رد پای کربن کنونی به ۱/۸۹ مترمربع تقلیل می یابد.

ث) جایگزین کردن استانداردهای روز اروپا برای تمامی وسایل نقلیه بنزین سوز تا سال ۱۴۲۰

تغییر نوع استاندارد وسایل نقلیه بنزین سوز به یورو ۴ و یورو ۵، میزان کاهش آلاینده های تولیدی هر وسیله نقلیه تولیدی از ۲۰۷ گرم گاز آلاینده به ۱/۱۸ گرم گاز آلاینده کاهش می یابد (۳۰) و این یعنی کاهش بیش از ۵۶ درصدی تولید کربن که در صورت وقوع این تغییر برای خودروهای کنونی رد پای کربن به ۲/۴۵ مترمربع کاهش می یابد.

ج) تقویت حمل و نقل عمومی و توسعه حمل و نقل سبز تا سال ۱۴۲۰

با توجه به کاهش محسوس تعداد وسایل نقلیه بنزین سوز در گام اول نیاز به تقویت حمل و نقل عمومی برای جایگزینی است. همچنین مضاف بر این می توان از طریق تقویت الگوهای حمل و نقل سبز تعداد سفرها با وسایل نقلیه بنزین سوز را کاهش داد. در صورتی که تا سال ۱۴۲۰ سیاست های دولتی و مدیریت شهری، سیاست های تقویت حمل و نقل عمومی و توسعه حمل و نقل سبز را به صورت عملی و جدی در دستور کار قرار دهند، به گونه ای که مجموع اقدامات آنها در نهایت و در افق ۱۴۲۰

موجب ارتقاء ۱۰۰ درصدی حمل و نقل عمومی با تأکید بر مترو و اتوبوس و توسعه حمل و نقل سبز گردد و همچنین موجب کاهش ۵۰ درصدی استفاده از وسایل نقلیه بنزین‌سوز شود، سرانه رد پای کربن وسایل نقلیه بنزین‌سوز در شهر تهران نیز بیش از ۵۰

درصد کاهش خواهد یافت و به ۲/۷۹ مترمربع خواهد رسید. در جدول (۴) میزان اثرگذاری هر پیشران بر سرانه رد پای کربن حمل و نقل بنزینی شهر تهران ارائه شده است:

جدول (۴): میزان اثرگذاری هر پیشران بر سرانه رد پای کربن حمل و نقل بنزینی شهر تهران

پیشران	الف	ب	پ	ت	ث	ج
درصد تأثیر	+۱۸٪	+۷۵٪	-۴۰٪	-۶۶٪	-۵۶٪	-۵۰٪
میزان تأثیر بر اساس وضع موجود (مترمربع)	+۰۰/۱	+۴/۱۸	- ۲/۲۳	-۳/۶۸	-۳/۱۲	-۲/۷۹

- ارزیابی سناریوها در نرم‌افزار سناریو ویزارد

در این مرحله سناریوهای پیش‌بینی شده را به منظور ارزیابی سناریوها بر اساس وقوع یا عدم وقوع هریک از پیشران‌ها، وارد نرم‌افزار سناریو ویزارد گردیده و با مقایسه‌ای زوجی میان آینده‌های ممکن، مناسب‌ترین

وضعیت شناسایی شده است. ملاک ارزیابی زوجی درصد تأثیرگذاری هریک از پیشران‌ها بر میزان تولید کربن بوده که نتایج آن در جدول (۵) قابل مشاهده است.

جدول (۵): ارزیابی سناریوها

شماره سناریو	۱
مقدار سازگاری	۲
امتیاز تأثیر کل	۳۲
ادامه روند موجود و افزایش بی‌رویه تولید و استفاده از خودرو	کنترل گردد
ادامه روند افزایش تعداد خودروهای فرسوده	مقابله گردد
جایگزین کردن استانداردهای روز اروپا برای کیفیت بنزین و تمامی خودروها	تحقق یابد
حذف خودروهای فرسوده	تحقق یابد
جایگزینی خودروهای کم‌مصرف	تحقق یابد
تقویت حمل و نقل عمومی و توسعه حمل و نقل سبز	تحقق یابد
شماره سناریو	۲
مقدار سازگاری	۲
امتیاز تأثیر کل	۲۷
ادامه روند موجود و افزایش بی‌رویه تولید و استفاده از خودرو	کنترل گردد
ادامه روند افزایش تعداد خودروهای فرسوده	مقابله گردد
جایگزین کردن استانداردهای روز اروپا برای کیفیت بنزین و تمامی خودروها	تحقق یابد
حذف خودروهای فرسوده	تحقق یابد
جایگزینی خودروهای کم‌مصرف	تحقق یابد
تقویت حمل و نقل عمومی و توسعه حمل و نقل سبز	تحقق نیابد

ادامه جدول (۵):

۳	شماره سناریو
۲	مقدار سازگاری
۲۳	امتیاز تأثیر کل
کنترل گردد	ادامه روند موجود و افزایش بی‌رویه تولید و استفاده از خودرو
مقابله گردد	ادامه روند افزایش تعداد خودروهای فرسوده
تحقق نیابد	جایگزین کردن استانداردهای روز اروپا برای کیفیت بنزین و تمامی خودروها
تحقق یابد	حذف خودروهای فرسوده
تحقق یابد	جایگزینی خودروهای کم مصرف
تحقق نیابد	تقویت حمل و نقل عمومی و توسعه حمل و نقل سبز
۴	شماره سناریو
۲	مقدار سازگاری
۰	امتیاز تأثیر کل
کنترل نگردد	ادامه روند موجود و افزایش بی‌رویه تولید و استفاده از خودرو
مقابله نگردد	ادامه روند افزایش تعداد خودروهای فرسوده
تحقق نیابد	جایگزین کردن استانداردهای روز اروپا برای کیفیت بنزین و تمامی خودروها
تحقق نیابد	حذف خودروهای فرسوده
تحقق نیابد	جایگزینی خودروهای کم مصرف
تحقق نیابد	تقویت حمل و نقل عمومی و توسعه حمل و نقل سبز

- تحلیل سناریوها

(۱) سناریوی ایده آل

در سناریوی ایده آل، فرض بر این است که تمامی پیشران‌های مؤثر بر کاهش رد پای کربن حمل و نقل بنزینی تا سال ۱۴۲۰ محقق شوند. این سناریو شامل کنترل روند موجود افزایش بی‌رویه تولید و استفاده از خودرو، مقابله با روند افزایش تعداد خودروهای فرسوده از طریق حذف آن‌ها، جایگزین کردن استانداردهای روز اروپا برای کیفیت بنزین و تمامی خودروها، جایگزینی خودروهای کم مصرف و تقویت حمل و نقل عمومی و توسعه حمل و نقل سبز است. یافته‌های تحقیق نشان می‌دهد که در حال حاضر ۴۰ درصد از وسایل نقلیه در تهران فرسوده هستند و هر وسیله نقلیه فرسوده تقریباً ۳۰ درصد بیشتر بنزین مصرف می‌کند که به افزایش ۱۸ درصدی تولید کربن

۶۰

منجر می‌شود. همچنین، متوسط مصرف سوخت وسایل نقلیه بنزین‌سوز در ایران نزدیک به سه برابر استاندارد جهانی است و با جایگزینی خودروهای کم مصرف با مصرف ۴ لیتر در هر ۱۰۰ کیلومتر، می‌توان سرانه پای اکولوژیک هر وسیله نقلیه جدید را ۶۶ درصد کاهش داد. تغییر استاندارد آلاینده‌گی به یورو ۴ و ۵ نیز بیش از ۵۶ درصد از تولید کربن می‌کاهد. در این سناریو، با تحقق تمامی این اقدامات، پیش‌بینی می‌شود که سرانه رد پای کربن حمل و نقل بنزینی در شهر تهران به ۰/۲۵ مترمربع خواهد رسید که نسبت به استاندارد جهانی ۵۰ درصد کمتر است. این وضعیت نه تنها پایداری زیست محیطی را به ارمغان می‌آورد، بلکه می‌تواند به بهبود کیفیت هوا و سلامت عمومی در کلان‌شهر تهران کمک شایانی نماید. تحقق این

سناریو نیازمند اراده قوی سیاسی، سرمایه‌گذاری کلان در زیرساخت‌های حمل و نقل عمومی و سبز و اجرای سیاست‌های تشویقی و تنبیهی برای کاهش استفاده از خودروهای شخصی پرمصرف و فرسوده است.

۲) سناریوی مطلوب

سناریوی مطلوب، وضعیتی را ترسیم می‌کند که در آن برخی از پیشران‌های مثبت محقق می‌شوند، اما تقویت حمل و نقل عمومی و توسعه حمل و نقل سبز به‌طور کامل تحقق نمی‌یابد. این سناریو شامل کنترل روند افزایش تعداد خودروها، مقابله با فرسودگی خودروها، جایگزینی استانداردهای روز اروپا، جایگزینی خودروهای کم‌مصرف و حذف خودروهای فرسوده است. بر اساس یافته‌ها، در ۵ سال گذشته به‌طور میانگین سالانه ۵ درصد به تعداد وسایل نقلیه بنزین‌سوز افزوده شده است که به معنای افزایش ۷۵ درصدی تعداد این وسایل تا افق ۱۴۲۰ است. در صورت حذف خودروهایی که به سن فرسودگی می‌رسند (حدود ۵۴ درصد کل وسایل نقلیه بنزین‌سوز)، سرانه رد پای کربن ۴۰ درصد کمتر از وضع موجود خواهد بود. با این حال، عدم تحقق کامل تقویت حمل و نقل عمومی و توسعه حمل و نقل سبز که می‌تواند منجر به کاهش ۵۰ درصدی استفاده از وسایل نقلیه بنزین‌سوز شود، تأثیر مثبتی که این اقدامات می‌توانند داشته باشند را محدود می‌کند. با توجه به ارزیابی‌ها در این سناریو، سرانه رد پای کربن حمل و نقل بنزینی در تهران ۰/۵۰ مترمربع و تقریباً برابر با استاندارد جهانی خواهد بود. این سناریو نشان‌دهنده بهبود قابل ملاحظه‌ای نسبت به وضعیت موجود است که برای دستیابی به پایداری کامل

زیست‌محیطی کافی است و کمترین چالش‌ها در زمینه آلودگی و مصرف انرژی وجود خواهد داشت.

۳) سناریوی قابل قبول

سناریوی قابل قبول، وضعیتی بینابین سناریوی مطلوب و فاجعه‌بار است که در آن تنها بخشی از پیشران‌های مثبت محقق می‌شوند و برخی اقدامات ضروری برای کاهش رد پای کربن به نتیجه نمی‌رسند. در این سناریو، کنترل روند افزایش تعداد خودروها و مقابله با فرسودگی آن‌ها، حذف خودروهای فرسوده و جایگزینی خودروهای کم‌مصرف محقق می‌شوند، اما جایگزین کردن استانداردهای روز اروپا برای کیفیت بنزین و تمامی خودروها و همچنین تقویت حمل و نقل عمومی و توسعه حمل و نقل سبز تحقق نمی‌یابند. همان‌طور که پیش‌تر ذکر شد، جایگزینی خودروهای کم‌مصرف می‌تواند ۶۶ درصد از رد پای اکولوژیک هر وسیله نقلیه جدید بکاهد و حذف خودروهای فرسوده نیز تأثیر قابل توجهی در کاهش سرانه رد پای کربن دارد. با این حال، عدم ارتقاء استانداردهای آلاینده‌گی و عدم توسعه حمل و نقل عمومی باعث می‌شود که میزان کاهش کلی رد پای کربن محدودتر شود. طبق ارزیابی‌ها، در این سناریو سرانه رد پای کربن حمل و نقل بنزینی در تهران ۰/۸۳ مترمربع خواهد بود که نسبت به استاندارد جهانی ۱/۷ برابر بیشتر است. این بدان معناست که با وجود بهبود بسیاری از روندها، وضعیت زیست‌محیطی همچنان نامطلوب خواهد بود اما با توجه به وضعیت کنونی آلودگی هوا و مصرف بالای سوخت در شهر تهران این تغییرات در مدت زمان ۱۵ سال قابل قبول خواهد بود. این سناریو لزوم توجه جدی‌تر به کلیه ابعاد پایداری حمل و نقل را نمایان می‌سازد.

۴) سناریوی فاجعه بار

سناریوی فاجعه بار، بدترین وضعیت ممکن را به تصویر می کشد که در آن هیچ یک از پیشران های مثبت برای کاهش رد پای کربن محقق نمی شوند. این سناریو شامل ادامه روند موجود و افزایش بی رویه تولید و استفاده از خودرو، ادامه روند افزایش تعداد خودروهای فرسوده بدون هیچ گونه اقدام مقابله ای، عدم جایگزین کردن استانداردهای روز اروپا، عدم حذف خودروهای فرسوده، عدم جایگزینی خودروهای کم مصرف و عدم تقویت حمل و نقل عمومی و توسعه حمل و نقل سبز است. یافته ها نشان می دهد که در صورت ادامه روند فعلی، تعداد خودروها، به طور فزاینده ای افزایش یافته و فرسودگی آنها نیز ادامه خواهد داشت که هر دو عامل به افزایش قابل توجه تولید کربن منجر می شوند. عدم ارتقاء استانداردها و عدم توسعه حمل و نقل عمومی نیز وضعیت را بدتر خواهد کرد. بر اساس ارزیابی ها، در

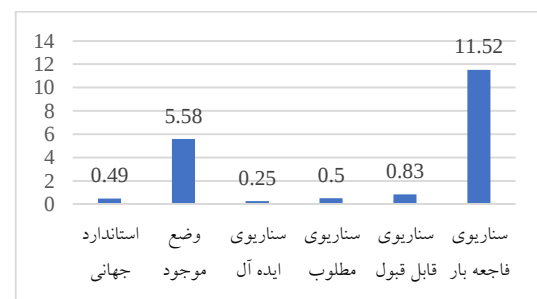
این سناریو سرانه رد پای کربن حمل و نقل بنزینی در تهران به ۱۱/۵۲ مترمربع خواهد رسید که بیش از ۲۳ برابر استاندارد جهانی و ۲ برابر وضع موجود خواهد بود. این وضعیت نه تنها به معنای آلودگی شدید هوا و پیامدهای جدی برای سلامت عمومی است، بلکه بار سنگینی را بر منابع طبیعی و اکوسیستم ها تحمیل می کند و به تشدید بحران های زیست محیطی، نظیر گرمایش جهانی دامن می زند. این سناریو هشدار جدی برای سیاست گذاران و جامعه است و نشان دهنده ضرورت اقدامات فوری و جامع برای تغییر مسیر به سمت پایداری است.

- مقایسه سناریوها

به منظور درک بهتر و مقایسه دقیق تر سناریوها و وضع موجود با یکدیگر در جدول (۶) و شکل (۲) سرانه رد پای کربن حمل و نقل بنزینی شهر تهران برای هریک ارائه شده است:

جدول (۶): مقایسه سرانه رد پای کربن حمل و نقل بنزینی شهر تهران در هریک از سناریوها

سناریوها	وضع موجود	سناریوی ایده آل	سناریوی مطلوب	سناریوی قابل قبول	سناریوی فاجعه بار استاندارد جهانی
سرانه رد پای کربن (مترمربع)	۵/۵۸	۰/۲۵	۰/۵۰	۰/۸۳	۱۱/۵۲
	۰/۴۹				



شکل (۲): مقایسه سرانه رد پای کربن حمل و نقل بنزینی شهر تهران در هریک از سناریوها

مقایسه سرانه رد پای کربن حمل و نقل بنزینی شهر تهران نشان می دهد که اختلاف بسیار زیادی بین سناریوهای ایده آل، مطلوب و قابل قبول با سناریوی فاجعه بار وجود دارد که سیاست ها، اقدامات و برنامه های کنونی در زمینه حمل و نقل شهری، تولید خودرو و مصرف سوخت های فسیلی وقوع سناریوی فاجعه بار را تضمین می نماید.

بحث

این مقاله نشان داد که ارزیابی شاخص‌های زیست‌محیطی با استفاده از ابزارهای مناسب نظیر ردپای کربن، نه تنها به درک بهتر تأثیرات منفی فعالیت‌های انسانی بر محیط زیست کمک می‌کند بلکه می‌تواند راهگشای سیاست‌گذاران و برنامه‌ریزان شهری برای اتخاذ تصمیمات بهتر در راستای مدیریت منابع و بهینه‌سازی سیستم‌های حمل و نقل باشد. این ابزار، به‌ویژه در مناطق شهری که با چالش‌های خاصی همچون آلودگی شدید مواجه هستند، می‌تواند به تدوین سیاست‌های مؤثر و پایدار کمک کند.

نتایج حاصل از به‌کارگیری مدل رد پای کربن در ارزیابی پایداری زیست‌محیطی وسایل نقلیه بنزین‌سوز در شهر تهران به‌وضوح نشان داد که سرانه رد پای بوم‌شناختی حمل و نقل بنزینی در این شهر به‌طور قابل‌توجهی بالاتر از استاندارد جهانی است؛ لذا این شیوه حمل و نقل در وضعیت فعلی، پایدار محسوب نمی‌شود. علاوه بر این، پیش‌بینی‌ها حاکی از آن است که در صورت تداوم روند کنونی تا سال ۱۴۲۰، شاهد افزایش بیش از ۱۰۰ درصدی در سرانه رد پای کربن وسایل نقلیه بنزین‌سوز خواهیم بود که این افزایش به معنای سرانه‌ای بیش از ۲۳ برابر استاندارد جهانی است. این امر نه تنها برای محیط زیست شهر تهران، بلکه برای کره زمین نیز خطرآفرین خواهد بود.

به‌طورکلی مقایسه این یافته‌ها با نتایج تحقیقات مشابه در سایر مناطق و با استفاده از روش رد پای بوم‌شناختی همخوانی دارد که نشان می‌دهد روش رد پای بوم‌شناختی ابزاری کمی با سازوکاری مشخص

برای ارزیابی پایداری زیست‌محیطی است. تفاوت‌ها در نتایج این مقاله با سایر مقالات مشابه نیز نشان‌دهنده وابستگی کاربرد رد پای بوم‌شناختی به قلمرو مکانی و زمانی خاص خود است. اما به‌طور خاص تحقیقات مشابهی که توسط نان^۱ و همکاران در چین (۲۰)، گیل^۲ و همکاران در پاکستان (۱۸)، نصیر موریس^۳ و همکاران در سودان جنوبی (۱۶)، و سیگتی^۴ و همکاران در مجارستان (۱۷)، انجام شده است، نشان می‌دهد که رد پای کربن در شهرهای کشورهای در حال توسعه مانند شهر تهران بسیار بیشتر از استاندارد جهانی است و این روند رو به افزایش است که بخش عمده آن مربوط به حمل و نقل شهری است. این امر موجب تشدید روند گرمایش زمین و تسریع روند تغییرات اقلیمی می‌گردد. از طرفی این تحقیقات نشان می‌دهد که کشورهایی نظیر چین، مجارستان و آفریقای جنوبی برخلاف ایران اقدامات جدی را جهت مقابله با افزایش رد پای کربن در دستور کار قرار دادند، از جمله تولید و استفاده از خودروهای برقی، گسترش و تقویت حمل و نقل عمومی و رعایت آخرین استانداردهای جهانی.

باید به این نکته توجه نمود که مقاله کاربردی حاضر با سه محدودیت اصلی مواجه بوده است:

- ۱- ارزیابی محدود به گاز گلخانه‌ای کربن
- ۲- ارزیابی محدود به الگوی حمل و نقل بنزینی
- ۳- ارزیابی محدود به شهر تهران

اما می‌تواند الگویی برای تحقیقات آتی جهت ارزیابی سایر گازهای گلخانه‌ای نظیر متان و نیتروژن و یا سایر الگوهای حمل و نقلی نظیر خودروهای

³ Nasir Morris

⁴ Szigeti

¹ Nan

² Gill

گازسوز و دیزل و یا سایر شهرهای پرجمعیت و پرتعداد کشور نظیر مشهد، اصفهان، کرج و تبریز باشد.

نتیجه گیری

سیستم‌ها و شیوه‌های حمل و نقلی ناپایدار پیامدهای زیست محیطی متعددی از جمله گرمایش زمین، تغییرات آب و هوایی، آلودگی هوا، انتشار گازهای گلخانه‌ای، آلودگی آب، آلودگی صوتی و جزایر حرارتی را به دنبال دارند که مستقیماً بر کیفیت زندگی انسان‌ها تأثیر می‌گذارند. این مسائل نه تنها به سلامت جسمی و روانی ساکنان مناطق شهری آسیب می‌زنند، بلکه می‌توانند به کاهش کیفیت زندگی، افزایش هزینه‌های بهداشتی و کاهش بهره‌وری اقتصادی منجر شوند. این امر به نوبه خود، ضرورت فزاینده توجه به پایداری زیست محیطی را در مناطق شهری، به ویژه در راستای ارتقاء کیفیت زندگی انسان‌ها، نمایان می‌سازد. از این رو تحرک پایدار شهری به هدف اول سیاست‌گذاران و برنامه ریزان تبدیل گشته و رویکردهایی نظیر شهر ۱۵ دقیقه‌ای، شهر شاد، شهر سالم و شهر سبز در سالیان اخیر گسترش یافته‌اند تا جایی که شهرداران شهرهای بزرگی نظیر پاریس، بوگوتا و ملبورن این رویکردها را به عنوان اهداف اصلی کمپین‌های تبلیغاتی خود معرفی کرده‌اند (۳۱ و ۳۲). این در حالی است که در شهر تهران، علی رغم اهمیت بالای مسئله آلودگی هوا و مصرف سوخت‌های فسیلی، هنوز بسیاری از وسایل نقلیه، فاقد استانداردهای بین‌المللی هستند. این تحقیق نشان داد که چالش کنونی هر روز در حال عمیق‌تر شدن است که می‌تواند محیط زیست و سلامت شهروندان را با خطرات جدی و جبران‌ناپذیر مواجه کند. همچنین این امر موجب تشدید روند گرمایش

زمین و تسریع روند تغییرات آب و هوایی می‌گردد. در همین راستا، تحقیق حاضر مسیرهایی را نشان داد که چگونه می‌توان تا سال ۱۴۲۰ سرانه رد پای بوم‌شناختی وسایل نقلیه بنزین‌سوز در تهران را به سطحی کمتر از استاندارد جهانی رساند. این نتایج و روش تحقیق به‌کاررفته در این مقاله می‌تواند به عنوان الگو و مدلی کاربردی برای سایر کلان‌شهرهای کشورهای در حال توسعه مورد استفاده قرار گیرد تا با کاهش سرانه رد پای بوم‌شناختی، الگوهای حمل و نقلی خود، به سمت دستیابی به توسعه‌ای پایدار حرکت کنند.

تعارض منافع

نویسندگان هیچ‌گونه تعارض منافی برای اعلام ندارند.

منابع

- [1] Hutchison, R., 2010, Encyclopedia of Urban Studies. SAGE Publications.
- [2] Alvarez-Risco, A., Del-Aguila-Arcentales, S., Rosen, M.A., 2020, Sustainable transportation in cities. In: Building sustainable cities: Social, economic and environmental factors. Alvarez-Risco, A., Rosen, M., Del-Aguila-Arcentales, S., Marinova, D. (Editors), Springer, pp. 149-165.
- [3] Martins, V.W.B., Anholon, R., Quelhas, O.L.G., 2019, Sustainable transportation methods. In: Encyclopedia of sustainability in higher education. Filho, W.L. (Editor), Springer, pp. 1847-1853.
- [4] Faulin, J., Grasman, S.E., Juan, A.A., Hirsch, P., 2019, Sustainable transportation: Concepts and current practices. Sustainable Transportation and Smart Logistics, Decision-Making Models and Solutions, 3.
- [5] Zhou, J., 2012, Sustainable transportation in the US: A review of proposals, policies, and programs since 2000. Frontiers of Architectural Research, 1, 150.
- [6] Davis, A., Whyte, B., 2020, Making the shift to sustainable transport in Scotland. Cities & Health Journal, 6, 267.

- and ecological footprint: The case of Africa. *Environmental Science and Pollution Research*, 29, 74756.
- [20] Nan, Y., Sun, R., Jing, L., Li, Y., 2022, Calculation and prediction of China's energy ecological footprint based on the carbon cycle. *International Journal of Environmental Science and Technology*, 20, 11075.
- [21] TPSIS, 2024, Tehran population estimate. Tehran province statistical information system, National Planning and Budget Organization, (Available online: <https://amar.thmporg.ir/>). (in Persian)
- [22] Habibi, K., Rahimi Kake Joob, A., Abdi, M.H., 2012, Ecological footprint assessment of urban transportation; New approach for sustainability of urban transportation planning. *Geographical Planning of Space Quarterly Journal*, 2(5), 99. (in Persian)
- [23] Veysi, M.R., Pirmoradi, P., Garshasbi, D., 2023, Evaluation of environmental sustainability for urban transportation patterns of Bojnurd by ecological footprint technique. *Environment and Interdisciplinary Development*, 7(78), 86. (in Persian)
- [24] Pirmoradi, P., Garshasbi, D., Aghilimehr, L., 2022, Urban Design Toolkit, Academic Center for Education, Culture and Research, Alborz. (in Persian)
- [25] Yasemi, F., 2024, Average daily gasoline consumption in Tehran Province. *Tasnim News*, (Available online: <https://www.tasnimnews.com/fa/news/1403/07/14/3171429>). (in Persian)
- [26] Barari, M., Razaviyan, M.T., Tavakoliniya, J., 2017, Evaluation of the ecological footprint to achieve urban green transport with the introduction of ASI strategy (Case study: City of Sari). *Geography and Territorial Spatial Arrangement*, 7(22), 21. (in Persian)
- [27] Fini, A., 2024, 30 percent increase in fuel consumption in worn-out cars. *Ahar News*, 85773, (Available online: <https://www.aharnews.ir/?p=85773>). (in Persian)
- [28] Negahdari, B., 2024, Average growth of 15 percent in automobile production in the last 3 years. Research Center of the Islamic Consultative Assembly of Iran, 1805686, (Available online: <https://rc.majlis.ir/fa/news/show/1805686>). (in Persian)
- [7] Meena, A.K., Yadav, T.K., 2019, What is ecological footprint and why is it important?. *Agrobis Newsletter*, 18(1), 25.
- [8] Wackernagel, M., Lin, D., Hanscom, L., Galli, A., Iha, K., 2019, Ecological footprint. In: *Encyclopedia of ecology* (2nd Edition). Vol. 4, Fath, B. (Editor), Elsevier, pp. 270-282.
- [9] Yang, H., Gong, Z., Chen, C., Zhao, T., 2020, Ecological footprint of residential building in Xining. 4th International Conference on Environmental and Energy Engineering, 12-15 March, Sanya, China.
- [10] van den Bergh, J.C.J.M., Grazi, F., 2014, Ecological footprint policy? Land use as an environmental Indicator. *Journal of Industrial Ecology*, 18, 10.
- [11] Wackernagel, M., Hanscom, L., Lin, D., 2017, Making sustainable development goals consistent with sustainability. *Frontiers in Energy Research*, 5, 18.
- [12] Wackernagel, M., Rees, W.E., 1996, *Our ecological footprint: Reducing human impact on the Earth*. New Society Publishers.
- [13] Gottlieb, D., Kissinger, M., Vigoda-Gadot, E., Haim, A., 2012, Analyzing the ecological footprint at the institutional scale – The case of an Israeli high-school. *Ecological Indicators*, 18, 91.
- [14] Ortega-Montoya, C.Y., Johari, A., 2019, Urban ecological footprints. In: *Sustainable cities and communities*. Filho, W.L., Azul, A.M., Brandli, L., Özuyar, P.G., Wall, T. (Editors), Springer, pp. 812-824.
- [15] Morse, S., Vogiatzakis, I.N., 2014, Resource use and deprivation: Geographical analysis of the ecological footprint and Townsend index for England. *Sustainability*, 6, 4749.
- [16] Morris, D.N., Morjan, M.D., Woni, M.O. M., Many, C., Akec, J.A., 2024, Ecological footprint assessment for environmental sustainability at the University of Juba, South Sudan. *American Journal of Environmental Protection*, 13, 219.
- [17] Szigeti, C., Major, Z., Szabó, D.R., Szennay, Á., 2023, The ecological footprint of construction materials - A standardized approach from Hungary. *Resources*, 12, 15.
- [18] Gill, A.R., Riaz, R., Ali, M., 2023, The asymmetric impact of financial development on ecological footprint in Pakistan. *Environmental Science and Pollution Research*, 30, 30755.
- [19] Dada, J.T., Olaniyi, C.O., Ajide, F.M., Adeiza, A., Arnaut, M., 2022, Informal economy

- [29] Maddah Moravvej, S., 2022, Petroleum products refining and distribution company: Average domestic vehicle consumption is nearly 3 times the global standard consumption/Gasoline imports likely to begin next year. Asriran, 844141, (Available online: <https://www.asriran.com/fa/news/844141>). (in Persian)
- [30] Fazli, M., 2020, Assessment of environmental sustainability of the transportation system in the urban development plan of Karaj: Proposing improvement solutions, University of Mazandaran, Urban Planning Department. (in Persian)
- [31] Pirmoradi, P., Garshasbi, D., Solgi, N., 2025, A critical review: The 15-minute city. Planning Practice & Research, 1.
- [32] Pirmoradi, P., Garshasbi, D., Noormohammadi Lafmajan, M., 2025, Identifying factors influencing happy urban spaces in the megacities of developing countries. Cities & Health, 1.