



Analysis of the Impact of Vegetation on Reducing Air Pollution and Health with an Emphasis on Quality of Life in the Baharestan Square Area

ARTICLE INFO

Article Type Original Research

Author

Kamyab Kiani¹
Mahdi Zandieh²
Hossein Medi^{3*}
Mohammad Mehdi Zarrabi⁴
Maryam Azmoodeh⁵

How to cite this article

Kiani, Kamyab, Zandieh, Mahdi, Hossein, Mehnaz, Zarrabi, Mohammad Mehdi and Azmoodeh, Maryam. Analysis of the Impact of Vegetation on Reducing Air Pollution and Health with an Emphasis on Quality of Life in the Baharestan Square Area. Urban Design Discourse. 2025; 6(3): 17-29.

Doi:

doi.org/10.48311/udd.2025.27565

¹ Ph.D. student in Architecture, Faculty of Architecture and Urbanism, Imam Khomeini International University (IKIU), Qazvin, Iran.

² Professor, Department of Architecture, Faculty of Architecture and Urbanism, Imam Khomeini International University.

³ Associate Professor, Department of Architecture, Faculty of Architecture and Urbanism, Imam Khomeini International University (IKIU).

⁴ Associate Professor, Department of Horticulture Engineering, Faculty of Agriculture and Natural Resources, Imam Khomeini International University (IKIU).

⁵ Assistant Professor, Department of Architecture, Faculty of Architecture and Urbanism, Imam Khomeini International University (IKIU).

* Correspondence

Address: Associate Professor,
Department of Architecture, Faculty
of Architecture and Urbanism, Imam
Khomeini International University
(IKIU)
Email: medi@arc.ikiu.ac.ir

ABSTRACT

Objective: This study examines the changes in green coverage of Nagarestan Garden in Tehran's District 12 from 1321 to 1404 (Persian calendar) and its impact on air quality, respiratory and cardiovascular diseases, and public health. It also analyzes residents' perspectives and simulates scenarios of 35% (minimum) and 70% (maximum) green coverage increase to propose solutions for reducing air pollution, enhancing urban quality of life, and achieving environmental sustainability in dense historical contexts.

Methods: A mixed-methods approach was employed, integrating historical data analysis, satellite imagery, simulations using i-Tree Canopy software, and field surveys with 384 respondents. Data were analyzed using linear regression models to assess relationships between green coverage, air quality, and public health.

Findings: Historical data and simulations revealed a 60% reduction in Nagarestan Garden's tree coverage from 2.28 ha in 1321 to 0.91 ha in 1378, with a partial recovery to 1.41 ha by 1404, leading to increased PM_{2.5} and PM₁₀ concentrations. This decline reduced annual CO₂ absorption from 25.55 tons to 15.81 tons and air pollution filtration from 584 kg to 361 kg. Surveys indicated high public concern (mean score 4.8/5), with 84% of respondents linking reduced green spaces to adverse health impacts and 72% supporting garden restoration. Scenarios of 35% and 70% green coverage increases resulted in 24% and 38% reductions in PM_{2.5} concentrations and 18% and 27% reductions in mortality rates, respectively.

Conclusion: Historical green spaces like Nagarestan Garden serve as resilient natural infrastructure, significantly reducing air pollution and improving public health. Each 10% increase in green coverage reduces mortality by 6%, validated by regression analyses and air quality data. These findings underscore the need to integrate environmental and public health policies in urban planning to restore historical green spaces and promote environmental justice.

Keywords: Nagarestan Garden, Green Coverage, Air Pollution, Historical Green Spaces, Public Health, Environmental Sustainability.

Article History

Received: 2025/5/2

Accepted: 2025/7/1

Revised date: 2025/10/1



تحلیل تأثیر پوشش گیاهی بر کاهش آلودگی هوا و سلامت با تأکید بر کیفیت زندگی در محدوده میدان بهارستان^۱

چکیده

اطلاعات مقاله:

نوع مقاله: پژوهشی اصیل

نویسندگان:

کامیاب کیانی^۱

مهدی زندیه^۲

حسین مدی^۳

محمد مهدی ضرابی^۴

مریم آزموده^۵

نحوه استناد به این مقاله:

کیانی، کامیاب، زندیه، مهدی، مدی، حسین، ضرابی، محمد مهدی و آزموده، مریم. تحلیل تأثیر پوشش گیاهی بر کاهش آلودگی هوا و سلامت با تأکید بر کیفیت زندگی در محدوده میدان بهارستان. گفتمان طراحی شهری مروری بر ادبیات و نظریه‌های معاصر. ۱۴۰۴؛ ۶ (۳): ۱۷-۲۹.

۱. پژوهشگر دکتری معماری، دانشکده معماری و شهرسازی، دانشگاه بین‌المللی امام خمینی (ره)، قزوین، ایران.
۲. استادیار گروه معماری، دانشکده معماری و شهرسازی، دانشگاه بین‌المللی امام خمینی (ره)، قزوین، ایران.
۳. دانشیار گروه معماری، دانشکده معماری و شهرسازی، دانشگاه بین‌المللی امام خمینی (ره)، قزوین، ایران.
۴. دانشیار گروه مهندسی علوم باغبانی، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه بین‌المللی امام خمینی (ره)، قزوین، ایران.
۵. استادیار گروه معماری، دانشکده معماری و شهرسازی، دانشگاه بین‌المللی امام خمینی (ره)، قزوین، ایران.

* نویسنده مسئول:

دکتر حسین مدی

نشانی: دانشیار گروه معماری، دانشکده معماری و شهرسازی، دانشگاه بین‌المللی امام خمینی (ره)، قزوین، ایران
ایمیل: medi@arc.ikiu.ac.ir

تاریخ مقاله

تاریخ دریافت: ۱۴۰۴/۲/۱۲

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۴/۴/۱۰

تاریخ بازنگری: ۱۴۰۴/۷/۹

هدف: این پژوهش با هدف بررسی روند تغییرات پوشش سبز باغ نگارستان در منطقه ۲۱ تهران طی بازه زمانی ۱۳۳۱ تا ۱۴۰۴ و ارزیابی تأثیر آن بر کیفیت هوا، شیوع بیماری‌های تنفسی و قلبی-عروقی، و سلامت عمومی شهروندان انجام شد. همچنین، با تحلیل دیدگاه‌های ساکنان و شبیه‌سازی سناریوهای افزایش پوشش سبز به میزان ۵۳٪ بصورت کمینه و ۷٪ بصورت بیشینه، راهکارهایی برای کاهش آلودگی هوا، ارتقای کیفیت زندگی شهری، و تحقق پایداری زیست‌محیطی در بافت‌های تاریخی متراکم ارائه شده است.

روش‌ها: این مطالعه با تلفیق روش‌های کمی و کیفی، شامل تحلیل داده‌های تاریخی، تصاویر ماهواره‌ای به کمک شبیه‌سازی با نرم‌افزار آی-تری‌کنوی، و پرسشنامه‌های میدانی با ۴۸۳ پاسخ‌دهنده انجام شد. داده‌ها با مدل‌های رگرسیون خطی تحلیل شدند تا ارتباط بین پوشش سبز، کیفیت هوا، و سلامت عمومی ارزیابی شود.

یافته‌ها: تحلیل داده‌های تاریخی و شبیه‌سازی‌ها نشان داد که کاهش ۰۶٪ پوشش درختی باغ نگارستان از سال ۱۳۳۱ (۸۲۰۲ هکتار) تا ۱۳۷۳ (۱۹۰۰ هکتار) و بهبود نسبی به ۱۴۰۱ هکتار در سال ۱۴۰۴، به افزایش غلظت ذرات معلق کوچکتر از ۵۰۲ میکرون و ذرات معلق کوچکتر از ۰۱ میکرون منجر شده است. این کاهش با افت ظرفیت جذب دی‌اکسید کربن از ۵۵۰۵۲ تن به ۱۸۰۵۱ تن و تصفیه آلودگی از ۴۸۵ کیلوگرم به ۱۶۳ کیلوگرم در سال همراه بوده است. پرسشنامه‌ها نگرانی بالای ساکنان (میانگین امتیاز ۸۰۴ از ۵) نسبت به کاهش فضای سبز و تأثیر آن بر سلامت جسمی و روانی (۴۸٪ پاسخ‌دهندگان) و تقاضای ۲۷٪ برای احیای باغ را تأیید کرد. سناریوهای افزایش ۵۳٪ و ۷٪ پوشش سبز به ترتیب کاهش ۴۲٪ و ۸۳٪ در غلظت ذرات معلق کوچکتر از ۵۰۲ میکرون و کاهش ۸۱٪ و ۷۲٪ در نرخ مرگ‌ومیر را نشان داد.

نتیجه‌گیری: پوشش سبز تاریخی مانند باغ نگارستان به عنوان زیرساخت طبیعی مقاومت‌پذیر نقش کلیدی در کاهش آلودگی هوا و بهبود سلامت عمومی دارد. هر ۰۱٪ افزایش پوشش سبز، نرخ مرگ‌ومیر را ۰۶٪ کاهش می‌دهد، که با تحلیل‌های رگرسیون خطی و داده‌های کیفیت هوا تأیید شد. این یافته‌ها ضرورت تلفیق سیاست‌های زیست‌محیطی و سلامت عمومی در برنامه‌ریزی شهری را برای احیای فضاهای سبز تاریخی و تحقق عدالت زیست‌محیطی برجسته می‌کند.

واژه‌های کلیدی: باغ نگارستان، پوشش سبز، آلودگی هوا، فضاهای سبز تاریخی، سلامت عمومی، پایداری زیست‌محیطی.

۱. این مقاله مستخرج از رساله دکتری، کامیاب کیانی پژوهشگر دکتری معماری با عنوان (تأثیر پوشش گیاهی بر آلاینده‌های محیطی در پهنه‌های شهری اقلیم گرم و نیمه خشک (نمونه مورد مطالعه: منطقه تاریخی بهارستان تهران)) به راهنمایی دکتر مهدی زندیه و دکتر حسین مدی و مشاوره دکتر محمد مهدی ضرابی و دکتر مریم آزموده در دانشگاه بین‌المللی امام خمینی (ره) می‌باشد.

حق چاپ © ۲۰۲۵، انتشارات دانشگاه تربیت مدرس. این مقاله با دسترسی آزاد تحت شرایط مجوز بین‌المللی Creative Commons Attribution-NonCommercial 4.0 منتشر شده است که به اشتراک‌گذاری (کپی و توزیع مجدد مطالب در هر رسانه یا قالبی) و انطباق (بازترکیب، تغییر شکل و بازسازی بر اساس محتوا) را اجازه می‌دهد.

۱. مقدمه

شهرنشینی شتابان در دهه‌های اخیر، شهرها را به مراکز اصلی فعالیت‌های صنعتی، تجاری و فرهنگی تبدیل کرده، اما توسعه بدون توجه به ظرفیت‌های زیست‌محیطی، پیامدهایی چون کاهش پوشش گیاهی، افزایش سطوح نفوذناپذیر و تشدید آلودگی هوا به دنبال داشته است [۱، ۲]. این چالش‌ها در کلان‌شهر تهران با مساحت تقریبی ۷۳۰ کیلومتر مربع، به دلیل تضاد میان توسعه کالبدی و الزامات زیست‌محیطی، به‌ویژه در مناطق مرکزی و تاریخی مانند منطقه ۱۲، مشهود است. تراکم بالای ساخت‌وساز، فرسودگی زیرساخت‌ها و کمبود فضای سبز، پدیده‌هایی نظیر جزایر گرمایی شهری (افزایش دمای محلی تا ۳-۵ درجه سانتی‌گراد) و انباشت آلاینده‌ها را تشدید کرده و کیفیت زندگی ساکنان را کاهش داده است [۳، ۴].

آلودگی هوای تهران، عمدتاً ناشی از منابع متحرک (۸۵-۹۰٪ انتشارات آلاینده‌ها از وسایل نقلیه) و منابع ثابت (۱۰-۱۵٪ از تأسیسات صنعتی)، به بحرانی جدی تبدیل شده است [۹]. میانگین غلظت روزانه ذرات معلق $PM_{2.5}$ (5.9 ± 29.8 میکروگرم بر مترمکعب) و PM_{10} (14.1 ± 78.7 میکروگرم بر مترمکعب) به ترتیب ۱.۶ و ۱.۲ برابر حدود مجاز سازمان بهداشت جهانی (۲۵ و ۵۰ میکروگرم بر مترمکعب) است [۹، ۱۸، ۲۰-۲۲]. این آلودگی‌ها، به‌ویژه در جنوب و غرب تهران به دلیل وارونگی دما و فعالیت‌های انسانی، با افزایش ۱۵٪ مأموریت‌های اورژانس برای بیماری‌های تنفسی و قلبی در ۱۴ سال اخیر و از دست رفتن ۴۵،۰۰۰ سال عمر ساکنان در سال ۲۰۱۹ مرتبط است [۱۱، ۱۴-۱۷]. ایران از نظر آلودگی هوا ششمین کشور در خاورمیانه و بیست‌ویکمین در جهان بوده و تهران در رتبه نوزدهمین پایتخت آلوده جهان قرار دارد [۱۳]. جدول ۱ تأثیر مؤلفه‌های آلاینده بر نرخ مرگ‌ومیر را نشان می‌دهد [۹، ۱۸، ۲۰-۲۲].

پژوهش‌های پیشین نشان داده‌اند که پوشش گیاهی با جذب دی‌اکسید کربن (تا ۰.۲ تن در هکتار سالانه برای درختان بالغ)، تولید اکسیژن و کاهش دمای محلی از طریق سایه‌اندازی و تبخیر و تعرق، می‌تواند غلظت ذرات معلق کوچک‌تر از $PM_{2.5}$ و کوچک‌تر از ده میکرون (PM_{10})، تا ۲۰-۴۰٪ کاهش دهد [۵-۸]. با این حال، کاهش فضای سبز در بافت‌های تاریخی مانند منطقه ۱۲ تهران، به دلیل شهرنشینی فشرده و تغییرات کاربری زمین، کارکردهای اکولوژیک را تضعیف کرده است. باغ نگارستان، که پوشش سبز آن از ۶۵-۷۰٪ مساحت در دهه ۱۳۲۰ به کمتر از ۳۰٪ در سال ۱۴۰۴ کاهش یافته، نمونه‌ای از این زوال است [۵]. این کاهش با افت تنوع زیستی و تشدید آلودگی هوا همراه بوده و سلامت عمومی را تهدید می‌کند.

این پژوهش با تمرکز بر باغ نگارستان، روند تغییرات پوشش گیاهی طی هشت دهه (۱۳۲۱-۱۴۰۴) و تأثیر آن بر کیفیت هوا

و سلامت ساکنان را بررسی می‌کند. برای ارزیابی تأثیر افزایش پوشش گیاهی بر کاهش آلودگی هوا و بهبود سلامت ساکنان در محدوده میدان بهارستان، دو سناریو با افزایش پوشش سبز به میزان ۳۵٪ و ۷۰٪ طراحی و شبیه‌سازی شده است. این مقادیر به‌عنوان کمینه و بیشینه بر اساس برداشت‌های میدانی، تحلیل تاریخی باغ نگارستان و مطالعات پیشین در زمینه ظرفیت‌های فضای سبز در بافت‌های متراکم شهری انتخاب شدند [۵، ۶]. داده‌های تاریخی نشان می‌دهند که پوشش سبز باغ نگارستان در دهه ۱۳۲۰ حدود ۶۵-۷۰٪ مساحت آن را تشکیل می‌داد، اما تا سال ۱۴۰۴ به کمتر از ۳۰٪ کاهش یافته است [۵]. سناریوی ۳۵٪، با استفاده از فضاهای موجود مانند حاشیه مسیرها و زمین‌های بایر، کمینه‌ای واقع‌بینانه برای احیای پوشش سبز است. سناریوی ۷۰٪، با الهام از وضعیت تاریخی باغ و نیازمند مداخلات گسترده‌تر نظیر بازطراحی فضاهای عمومی و احیای کامل باغ نگارستان، بیشینه‌ای برای بازگشت به شرایط بهینه گذشته را هدف‌گذاری می‌کند [۶].

این مطالعه با تلفیق داده‌های تاریخی، برداشت‌های میدانی و شبیه‌سازی، فرضیه‌ای مبنی بر ارتباط معنادار افزایش پوشش گیاهی با کاهش ذرات معلق و بهبود شاخص‌های سلامت عمومی مطرح کرده و راهکارهایی برای احیای فضاهای سبز تاریخی در راستای عدالت زیست‌محیطی و توسعه پایدار ارائه می‌دهد.

۲. روش‌شناسی تحقیق

پژوهش حاضر با ترکیب روش‌های شبیه‌سازی و مطالعات میدانی درصدد نمایش تأثیر پوشش‌های گیاهی بر سلامت شهروندان در منطقه ایی تاریخی می‌باشد. این پژوهش با تمرکز بر باغ نگارستان به‌عنوان یکی از مهم‌ترین فضاهای سبز تاریخی منطقه مرکزی تهران (منطقه ۱۲)، تغییرات پوشش سبز این باغ را در بازه‌ای حدود هشت دهه (از سال ۱۳۲۰ تا ۱۴۰۳ هجری شمسی) مورد بررسی قرار داده است. در این راستا، با بهره‌گیری از تصاویر ماهواره‌ای، نقشه‌های تاریخی، داده‌های نرم‌افزار تحلیل پوشش درختی شهری (i-Tree Canopy)، و تحلیل‌های اکولوژیکی، روند کاهش پوشش گیاهی و پیامدهای آن بر شاخص‌های کیفیت هوا و سلامت تنفسی شهروندان تحلیل شده است. علاوه‌بر تحلیل داده‌های زیست‌محیطی و سلامت، این مطالعه با استفاده از پرسش‌نامه‌های میدانی، ادراک عمومی نسبت به آلودگی هوا، کیفیت فضای سبز و تأثیرات سلامتی آن در منطقه را نیز ارزیابی کرده است. نتایج به‌دست‌آمده، پایه‌ای برای طراحی دو سناریوی احیای باغ نگارستان با افزایش تدریجی پوشش سبز فراهم آورده و امکان ارزیابی اثرات بالقوه هر سناریو بر بهبود کیفیت هوا و ارتقاء سلامت عمومی را فراهم می‌سازد. این روش‌شناسی نه تنها به فهم بهتر از روابط میان منظر شهری، آلودگی و سلامت کمک می‌کند، بلکه الگویی قابل

جدول ۱: ارتباط بین آلاینده‌های هوا و مرگ‌ومیر تنفسی در شهرهای بزرگ (منبع: [۹، ۱۸، ۲۰-۲۲])

متغیرهای آلودگی	افزایش در غلظت	تأثیر بر مرگ‌ومیر	گروه آسیب‌پذیر	مکانیسم کلیدی
ذرات معلق با قطر کمتر از ۲.۵ میکرومتر PM _{2.5}	۱۰+ میکروگرم بر مترمکعب $\mu\text{g}/\text{m}^3 + 10$	+۲.۹٪ (فاصله اطمینان ۹۵٪: ۱.۲-۵.۹٪)	≤ ۶۵ سال	نقص عملکرد اندوتلیال (عملکرد ضعیف رگ‌ها)، استرس اکسیداتیو (آسیب سلولی با افزایش رادیکال‌های آزاد)
ذرات معلق با قطر کمتر از ۱۰ میکرومتر PM ₁₀	۱۰+ میکروگرم بر مترمکعب $\mu\text{g}/\text{m}^3 + 10$	+۱.۶۲٪ (فاصله اطمینان ۹۵٪: ۰.۲۲-۳.۴۶٪)	≤ ۶۵ سال	التهاب، استرس اکسیداتیو (آسیب سلولی با افزایش رادیکال‌های آزاد)
دی‌اکسید گوگرد SO ₂	۱+ قسمت در میلیارد	قوی‌ترین ارتباط با مرگ‌ومیر تنفسی (+۲.۸٪ افزایش به ازای هر ۱ ppb افزایش)	≤ ۶۵ سال	آسیب به عملکرد ریه، تحریک راه‌های هوایی
مونوکسید کربن CO	۱+ قسمت در میلیون	+۲.۱٪ (فاصله اطمینان ۹۵٪: ۰.۵-۳.۳٪)	جمعیت عمومی	مهار انتقال اکسیژن
دی‌اکسید نیتروژن NO ₂	۱+ قسمت در میلیارد	۱.۵٪ (فاصله اطمینان ۹۵٪: ۰.۸-۱.۵٪)	جمعیت عمومی	عفونت راه‌های هوایی، آسیب به عملکرد ریه
اوزن (تری‌اکسید اکسیژن) O ₃	۱+ قسمت در میلیارد	+۰.۶٪ (فاصله اطمینان ۹۵٪: ۰.۱-۱.۱٪) (در فصول گرم)	متفاوت	استرس اکسیداتیو، تحریک دستگاه تنفسی

روی ۳۰ نفر اصلاح و نهایی شد. روایی پرسشنامه با محاسبه ضریب آلفای کرونباخ تأیید شد. ضریب آلفای کرونباخ با فرمول زیر محاسبه شد:

$$\alpha = \frac{n}{n-1} \times (1 - \frac{\sum (\text{مجموع واریانس‌های سؤالات} / \text{واریانس کل پاسخ‌ها})}{n})$$

که در آن n تعداد سؤالات (۲۶)، مجموع واریانس‌های سؤالات (۲۶ × ۰.۸ = ۲۰.۸)، و واریانس کل پاسخ‌ها ۲۰.۵ بود. با جایگذاری در فرمول:

$$\alpha = \frac{26}{26-1} \times (1 - \frac{20.5}{20.8}) \approx 0.79$$

این مقدار (۰.۷۹) نشان‌دهنده پایایی بالای ابزار (بالتر از آستانه استاندارد ۰.۷) است.

جامعه آماری ساکنان منطقه ۱۲ بود. با فرمول کوکران (سطح اطمینان ۹۵٪، حاشیه خطای ۵٪)، حجم نمونه اولیه ۳۸۴ نفر به صورت تصادفی طبقه‌بندی شده (بر اساس سن، جنسیت و تحصیلات) انتخاب شد. مصاحبه‌ها از ۳ تا ۹ فروردین ۱۴۰۴ در محدوده میدان بهارستان و باغ نگارستان انجام شد. پاسخ‌های ناقص (کمتر از ۸۰٪ تکمیل شده) و داده‌های افراد با اقامت کمتر از ۴ سال (به دلیل عدم آشنایی کافی با شرایط منطقه) حذف شدند. از ۵۳۲ پرسشنامه، ۳۸۴ مورد برای تحلیل نهایی استفاده شد. نرمال بودن داده‌ها با آزمون کولموگروف-اسمیرنوف ($p\text{-value} < 0.05$) تأیید شد، که قابلیت تعمیم نتایج را تضمین کرد. داده‌ها

تعمیم برای احیای فضاهای سبز تاریخی در دیگر شهرهای با اقلیم گرم و نیمه‌خشک نیز ارائه می‌دهد.

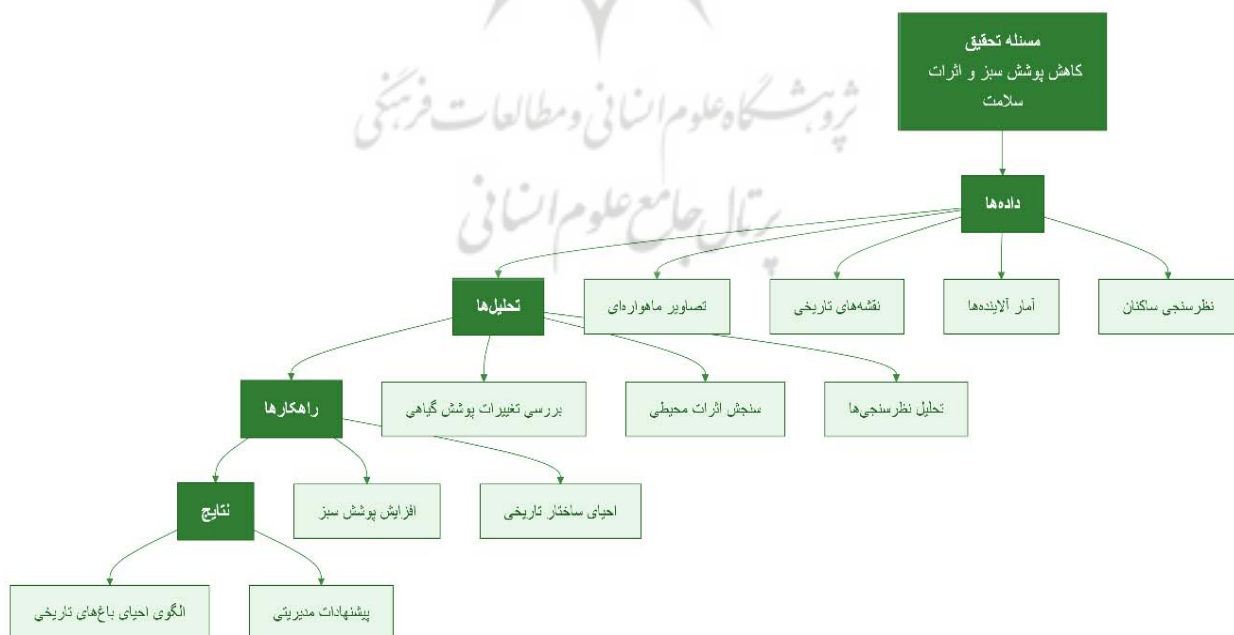
در سال ۲۰۰۶ میلادی، همکاری مشترکی میان وزارت کشاورزی ایالات متحده و سازمان جنگل‌داری ایالات متحده به تولید نرم‌افزار تحلیل پوشش درختی شهری (*i-Tree Canopy*) انجامید. این ابزار، به عنوان یکی از اجزای اصلی مجموعه نرم‌افزارهای *i-Tree*، امروزه در ایالات متحده و بسیاری از کشورهای جهان به عنوان یک استاندارد معتبر برای ارزیابی خدمات اکوسیستمی (Ecosystem Services - ESs) ارائه شده توسط پوشش‌های گیاهی شهری شناخته می‌شود [۲۲].

نرم‌افزار تحلیل پوشش درختی شهری (*i-Tree Canopy*) امکان پایش دقیق میزان پوشش سبز، تحلیل نقش آن در کاهش آلاینده‌های مختلف و نیز برآورد ارزش اقتصادی این خدمات را فراهم می‌سازد. در پژوهش حاضر، با بهره‌گیری از این ابزار پیشرفته، جزئیات مربوط به سهم پوشش‌های سبز موجود در باغ نگارستان در کاهش آلاینده‌ها استخراج شده‌اند. این تحلیل‌ها به وضوح نشان می‌دهند که چگونه درختان و گیاهان موجود در این ناحیه مرکزی تهران، نقشی مؤثر در بهبود کیفیت هوا و کاهش اثرات مخرب آلودگی بر سلامت عمومی ایفا می‌کنند.

پرسشنامه‌ای با ۲۶ سؤال برای ارزیابی دیدگاه‌های ساکنان منطقه ۱۲ تهران درباره کیفیت هوا، پوشش گیاهی و سلامت عمومی طراحی شد (مطابق جدول پ ۱ در بخش پیوست). این پرسشنامه پس از بررسی ادبیات نظری، تأیید توسط متخصصان محیط زیست، سلامت عمومی و برنامه‌ریزی شهری، و پیش‌آزمون

برای شبیه‌سازی سناریوهای آینده باغ نگارستان، بر اساس بررسی‌های میدانی سایت مطالعاتی و تحلیل داده‌های زیست‌محیطی، اجتماعی و اکولوژیکی، دو سناریو با افزایش پوشش سبز به میزان ۳۵٪ (کمینه) و ۷۰٪ (بیشینه) طراحی شد. این مقادیر با استفاده از نرم‌افزار آی-تری کنوپی (i-Tree Canopy) و تحلیل ظرفیت فیزیکی باغ، محدودیت‌های ساختاری منطقه ۱۲، ملاحظات اقلیمی و اجتماعی، و مقایسه با الگوهای موفق در شهرهای مشابه (مانند پارک‌های شهری در سئول و لندن) تعیین شدند. داده‌های تاریخی نشان می‌دهند که پوشش سبز باغ نگارستان در دهه ۱۳۲۰ حدود ۶۵-۷۰٪ مساحت آن را تشکیل می‌داد، اما تا سال ۱۴۰۴ کاهش قابل توجه داشت است [۵]. سناریوی ۳۵٪، با بهره‌گیری از فضاهای موجود مانند حاشیه مسیرها و زمین‌های بایر، به عنوان کمینه ضروری برای کاهش آلاینده‌ها (تا ۱۵٪ برای PM_{2.5}) و حفظ هویت تاریخی باغ تعیین شد. سناریوی ۷۰٪، با الهام از وضعیت تاریخی باغ و نیازمند سرمایه‌گذاری بلندمدت و بازطراحی فضاهای عمومی، به عنوان بیشینه ایده‌آل برای استفاده حداکثری از خدمات اکوسیستمی (مانند جذب ۰.۲ تن دی‌اکسید کربن در هکتار سالانه و کاهش ۳۰-۳۵٪ PM_{2.5}) و احیای کامل باغ انتخاب شد [۵، ۶، ۸]. این سناریوها با هدف بهبود کیفیت هوا، کاهش دمای محلی و ارتقای سلامت عمومی (کاهش ۱۰-۲۰٪ نرخ بیماری‌های تنفسی و قلبی) طراحی شدند. این مطالعه به بررسی تغییرات هشت دهه

باغ نگارستان با وسعتی حدود ۴۵ هکتار، یکی از ارزشمندترین فضاهای سبز تاریخی شهر تهران به‌شمار می‌رود (شکل ۲). این باغ در مختصات جغرافیایی ۳۵° ۴۱' ۴۱' شمالی و ۵۱° ۲۵' ۵۸' شرقی و در ارتفاع ۱۱۸۳ متر از سطح دریا قرار دارد. موقعیت مکانی خاص آن در مرکز تهران، در مجاورت بافت متراکم و تاریخی پایتخت، اهمیت زیست‌محیطی و فرهنگی ویژه‌ای به این فضا بخشیده است. باغ نگارستان به‌عنوان بخشی از ساختار سبز تاریخی شهر، نقشی کلیدی در بهبود کیفیت هوا و تلطیف شرایط زیست‌محیطی ایفا می‌کند. با این حال، طی دهه‌های اخیر، این فضا تحت تأثیر توسعه شهری، دستخوش تغییراتی در پوشش گیاهی و کیفیت زیست‌محیطی شده که پیامدهایی قابل توجه بر سلامت عمومی شهروندان و تعادل اکولوژیکی منطقه به‌دنبال داشته است. انتخاب این باغ به‌عنوان مطالعه



شکل ۱: فرآیند پژوهش (منبع: نگارندگان)

تحلیل‌ها بر اساس داده‌های نرم‌افزار آی-تری کنوپی (i-Tree Canopy) انجام شده است.

ارزش مالی سالانه خدمات زیست‌محیطی نیز همین روند را تأیید می‌کند. در سال ۱۳۲۱، این ارزش برابر با ۸۷۳۹۷ دلار بوده که در سال ۱۳۷۸ به ۳۴۹۶۰ دلار (کاهش ۶۰٪) رسیده و در سال ۱۴۰۴ به ۵۴۰۵۷ دلار افزایش یافته است (افزایش ۵۵٪ نسبت به ۱۳۷۸، اما همچنان ۳۸٪ کمتر از سطح ۱۳۲۱). در مجموع، این تحلیل حاکی از یک مسیر نزولی در میانه قرن و تلاش‌های جبرانی در سال‌های اخیر است، که به‌رغم پیشرفت‌هایی نسبی، هنوز به احیای کامل سیمای تاریخی و اکولوژیکی باغ ننجامیده است.

۳-۱. اطلاعات جمعیت‌شناختی

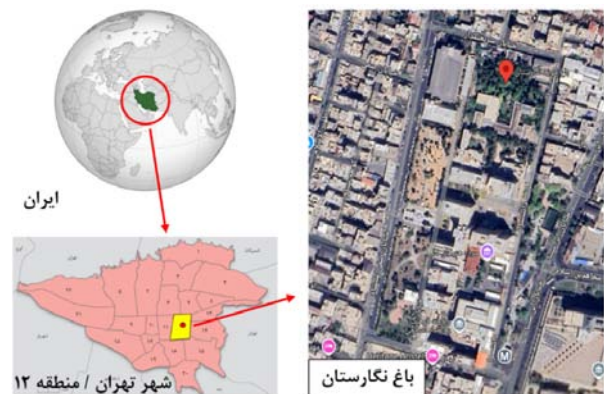
در بخش اول که به مشخصات جمعیتی پاسخ‌دهندگان اختصاص دارد، ترکیب جنسیتی تقریباً برابر بوده و شامل ۱۹۰ زن و ۱۹۴ مرد است. این توازن جنسیتی باعث می‌شود نتایج تحقیق از نظر دیدگاه‌های زنان و مردان دارای تعادل مناسبی باشد، همچنین پاسخ‌ها به صورت تصادفی و با توجه به توزیع جمعیت واقعی منطقه ۱۲ تهران شبیه‌سازی شده‌اند. در بخش سن، عمده پاسخ‌دهندگان در بازه سنی میانی یعنی ۳۶ تا ۵۰ سال (۱۲۰ نفر) و ۲۰ تا ۳۵ سال (۱۵۰ نفر) قرار دارند؛ این ترکیب نشان می‌دهد که بیشتر شرکت‌کنندگان در سنین فعال و شاغل جامعه قرار داشته‌اند و احتمالاً تأثیر آلودگی هوا و کاهش فضای سبز را در فعالیت‌های روزمره خود به‌خوبی تجربه کرده‌اند.

از نظر مدت سکونت، اکثریت افراد (۱۸۴ نفر) بیش از ۱۰ سال در منطقه ساکن بوده‌اند، که نشان‌دهنده شناخت عمیق آن‌ها از تغییرات محیطی و فضای سبز در طول زمان است. همچنین، سطح تحصیلات پاسخ‌دهندگان نیز بالا بوده است؛ به‌طوری که ۲۰۰ نفر دارای مدرک کارشناسی و ۸۴ نفر دارای مدرک کارشناسی ارشد یا بالاتر هستند. در مجموع مطابق شکل ۳، مشخصات جمعیتی پاسخ‌دهندگان نشان‌دهنده تنوع مناسب، تجربه‌زیسته قابل توجه، و سطح تحصیلات بالا است که به نتایج پژوهش اعتبار و تعمیم‌پذیری بیشتری می‌بخشد.

۳-۲. پوشش گیاهی و باغات تاریخی

در بخش دوم (پوشش گیاهی و باغات تاریخی)، اکثریت پاسخ‌دهندگان به‌شدت موافق بودند که تخریب باغات موجب افزایش آلودگی هوا شده است (میانگین امتیاز ۴.۵ از ۵)، و بر این باورند که پوشش گیاهی موجود برای بهبود کیفیت هوا کافی نیست (میانگین ۴.۷). همچنین، بیشترین تأکید بر ضرورت اقدامات دولت و شهرداری برای حفظ این فضاها بوده است (میانگین ۴.۸)، که نشان از نگرانی شدید عمومی نسبت به روند تخریب فضای سبز تاریخی دارد. از سوی دیگر، نقش این باغات در کاهش مشکلات تنفسی و

موردی، به دلیل جایگاه منحصربه‌فرد آن در سیستم سبز تهران و پیوند آن با هویت تاریخی و فرهنگی شهر صورت گرفته است.



شکل ۲: محدوده مورد مطالعه (منبع: نگارندگان)

در بازه زمانی سال‌های ۱۳۲۱، ۱۳۷۸ و ۱۴۰۴، پوشش سبز باغ نگارستان دستخوش تغییرات قابل توجهی شده است که در وسعت پوشش گیاهی و عملکردهای زیست‌محیطی آن مشهود است. تحلیل‌های انجام‌شده با استفاده از نقشه‌ها و تصاویر معتبر، همراه با بررسی‌های نرم‌افزار آی-تری کنوپی، کاهش چشمگیر پوشش سبز را تأیید می‌کند. انتخاب سال‌های ۱۳۲۱، ۱۳۷۸ و ۱۴۰۴ به دلیل دسترسی به داده‌های معتبر (مانند نقشه‌های تاریخی و تصاویر هوایی) و تناسب فاصله‌های زمانی متناسب برای تحلیل روندهای بلندمدت و میان‌مدت بوده است (جدول ۲ و ۳). در سال ۱۳۲۱، میزان پوشش درختی باغ برابر با ۲.۲۸ هکتار بود، که نشان از اوج شکوفایی اکولوژیکی آن دارد. این میزان در سال ۱۳۷۸ با کاهش چشمگیری به ۰.۹۱ هکتار رسید (کاهش معادل ۶۰٪ نسبت به ۱۳۲۱)، اما در سال ۱۴۰۴ اندکی افزایش یافت و به ۱.۴۱ هکتار رسید که نسبت به ۱۳۷۸ حدود ۵۵٪ رشد نشان می‌دهد، هرچند هنوز به سطح تاریخی خود بازنگشته است.

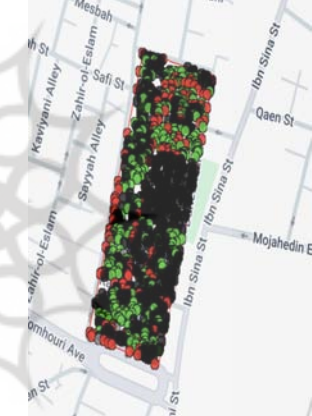
این تحولات در پوشش گیاهی، به طور مستقیم بر کارکردهای زیست‌محیطی باغ نیز تأثیر گذاشته‌اند. به‌عنوان نمونه، ظرفیت جذب دی‌اکسید کربن سالانه درختان از ۲۵.۵۵ تن در سال ۱۳۲۱ به ۱۰.۲۲ تن در ۱۳۷۸ کاهش یافته و سپس به ۱۵.۸۱ تن در ۱۴۰۴ افزایش یافته است؛ یعنی نسبت به ۱۳۲۱ کاهش ۳۸٪ و نسبت به ۱۳۷۸ افزایش ۵۵٪ را نشان می‌دهد. همچنین، میزان کل آلودگی هوای تصفیه‌شده (در قالب آلاینده‌هایی نظیر CO ، NO_2 ، O_3 ، SO_2 ، $PM_{2.5}$ ، PM_{10}) در سال ۱۳۲۱ برابر با ۵۸۴ کیلوگرم بوده که در ۱۳۷۸ به ۲۳۴ کیلوگرم (۶۰٪ کاهش) و در ۱۴۰۴ به ۳۶۱ کیلوگرم رسیده است (افزایش ۵۴٪ نسبت به ۱۳۷۸). این سیر تغییرات گویای رابطه‌ای مستقیم میان کاهش پوشش سبز و افت عملکردهای زیست‌محیطی، و بالعکس، بهبود نسبی در پوشش گیاهی و ارتقاء کیفیت زیستی در سال‌های اخیر است. این

جدول ۲: نقشه‌های هوایی و شبیه‌سازی (منبع: نگارندگان)

عناوین	۱۳۲۱	۱۳۷۸	۱۴۰۴
تصویر هوایی			
	منبع: [۱۸]	منبع: [۲۱]	منبع: [۲۱]

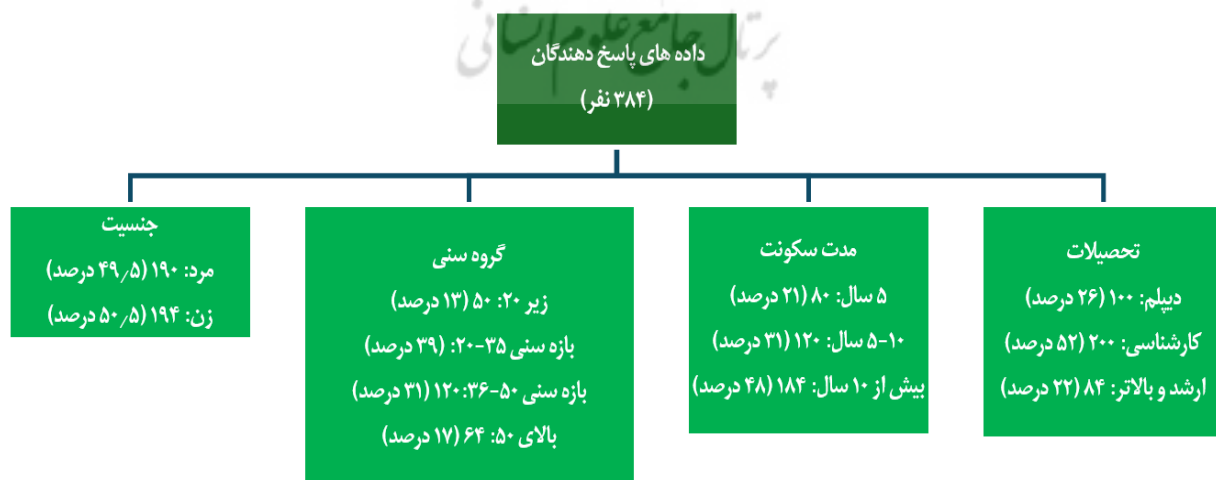
۱- پهنه مسکونی ۲- باغ مسیح الملک ۳- باغ جلال الملک ۴- میدان بهارستان ۵- محدوده تاریخی باغ نگارستان
۶- کوچه پهنه جنوبی باغ نگارستان ۷- بخش میانی باغ نگارستان ۸- بخش ادبی باغ نگارستان

راهنمای تطبیقی با سال ۱۳۲۱

		
انالیز شبیه‌سازی با نرم‌افزار آی-تری کنوپی		

نقطه‌های سبز رنگ: پوشش گیاهی - نقطه‌های قرمز رنگ: مسیرهای ارتباطی
نقطه‌های مشکی رنگ: فضاهای ساخت شده - نقطه‌های قهوه ای رنگ: زمین بایر

راهنما



شکل ۳: جامعه آماری پاسخ دهندگان (منبع: نگارندگان)

جدول ۳: وضعیت پوشش سبز باغ نگارستان در سال‌های ۱۳۲۱، ۱۳۷۸ و ۱۴۰۴ (منبع: نگارندگان)

سال		۱۳۲۱		۱۳۷۸		۱۴۰۴	
میزان پوشش سبز درختی (هکتار)		۲۰۲۸		۰۰۹۱		۱۰۴۱	
میزان سودمندی پوشش گیاهی درختی							
پارامترها	میزان	ارزش مالی (دلار)	میزان	ارزش مالی (دلار)	میزان	ارزش مالی (دلار)	میزان
تصویر کربن دی اکسید سالانه Carbon (تن)	کربن تصویه شده	۲۵۰۵۵	۳۳۲۴	۱۰۰۲۲	۱۳۳۰	۱۵۰۸۱	۲۰۵۶
	ذخیره شده در درخت (توجه: این نرخ سالانه نیست)	۶۴۱۰۷۸	۸۳۴۸۹	۲۵۶۰۷۱	۳۳۳۹۶	۱۲۸۰۰۴	۵۱۶۴۰
تصویر آلودگی هوا سالانه (کیلوگرم)	کربن مونواکسید CO	۲۰۴۴	۴	۰۰۹۷	۲	۱۰۵۱	۲
	نیتروژن دی اکسید NO2	۹۰۶۳	۲	۳۰۸۵	۱	۵۰۹۵	۱
	اوزون O3	۱۱۶۰۰۳	۷۵	۴۶۰۴۱	۳۰	۷۱۰۷۷	۴۶
	سولفور دی اکسید SO2	۲۰۰۷۷	۰	۸۰۳۰	۰	۱۲۰۸۵	۰
	ذرات کوچک تر از ۲.۵ میکرون PM2.5	۶۰۰۶	۱۵۷	۲۰۴۲	۶۳	۳۰۷۵	۹۷
	ذرات بزرگ تر از ۲.۵ میکرون و کوچک تر از ۱۰ میکرون PM10	۴۶۰۵۳	۳۴۷	۱۸۰۶۱	۱۳۹	۲۸۰۷۸	۲۱۴
میزان کل آلودگی		۲۰۱۰۴۵	۵۸۴	۸۰۰۵۷	۲۳۴	۱۲۴۰۶۰	۳۶۱
میزان کل ارزش مالی سالانه (دلار آمریکا)		۸۷۳۹۷		۳۴۹۶۰		۵۴۰۵۷	

فضای سبز و عدم دسترسی به آن، تأثیر منفی مستقیمی بر سلامت جسمی و روانی آن‌ها داشته است (نمودار ۲).

در بخش سوم و چهارم پرسشنامه، شدت نگرانی‌های ساکنان منطقه ۱۲ تهران نسبت به تأثیر آلودگی هوا بر سلامت روان، علائم تنفسی و افزایش بیماری‌های قلبی و ریوی با میانگین امتیاز ۴.۶ تا ۴.۹ (در مقیاس ۵) بسیار بالا بوده است. تحلیل داده‌های محیطی با استفاده از نرم‌افزار آی-تری کنوپی (i-Tree Canopy) و گزارش‌های کیفیت هوای تهران نشان داد که منابع اصلی آلودگی در این منطقه عمدتاً شامل ترافیک (با سهم ۸۵-۹۰٪ از انتشار آلاینده‌ها) و فعالیت‌های صنعتی (۱۰-۱۵٪) است [۹، ۱۸]. این یافته‌ها با مطالعات پیشین همخوانی دارد که ترافیک موتوری و صنایع را به‌عنوان عوامل اصلی تولید ذرات معلق کوچکتر از ۲.۵ میکرون و کوچکتر از ۱۰ میکرون معرفی کرده‌اند [۸]. همچنین، ۸۴٪ از پاسخ‌دهندگان با این گزاره موافق بودند که کاهش فضای سبز و عدم دسترسی به آن، تأثیر منفی مستقیمی بر سلامت جسمی و روانی آن‌ها داشته است (نمودار ۲). نمودار ۲ توزیع پاسخ‌های ساکنان درباره تأثیرات منفی کاهش فضای سبز بر سلامت را نشان می‌دهد.

حتی آلودگی صوتی نیز به ترتیب با میانگین امتیاز ۴.۴ و ۳.۸ ارزیابی شده‌اند (نمودار ۱).



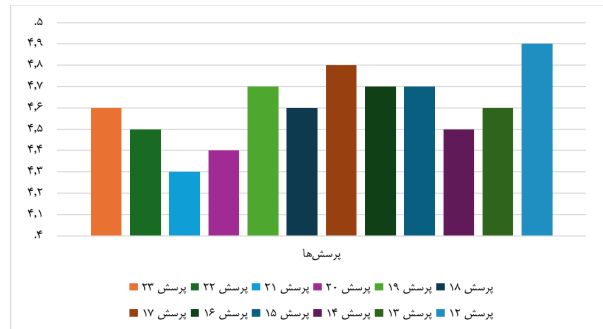
نمودار ۱: نتایج نظر سنجی پرسش‌های ۵ تا ۱۱ (منبع: نگارندگان)

۳-۳. آلودگی هوا، سلامت و کیفیت زندگی

در بخش سوم، شدت نگرانی‌ها نسبت به تأثیر آلودگی هوا بر سلامت روان، علائم تنفسی و افزایش بیماری‌های قلبی و ریوی با میانگین‌هایی نزدیک به ۴.۶ تا ۴.۹ بسیار بالا بوده است. منابع اصلی آلودگی نیز بیشتر شامل ترافیک و صنایع شناخته شده‌اند. همچنین، بیش از ۸۴٪ افراد با این گزاره موافق بودند که کاهش

۳۵٪ و ۷۰٪، بر اساس تحلیل تطبیقی شاخص‌های زیست‌محیطی باغ نگارستان با استفاده از نرم‌افزار آی-تری کنوپی (i-Tree Canopy)، نشان‌دهنده تأثیر قابل توجه افزایش پوشش درختی بر بهبود عملکردهای اکولوژیکی است. در سناریوی افزایش ۳۵٪، سطح پوشش درختی به ۱۰۹۱ هکتار می‌رسد و در سناریوی ۷۰٪ به ۲۰۴۰ هکتار افزایش می‌یابد، که نسبت به وضعیت فعلی (۱۰۴۱ هکتار در سال ۱۴۰۴) بهبود قابل توجهی است. این گسترش پوشش سبز به‌طور مستقیم ظرفیت جذب سالانه کربن را از ۱۵۸۱ تن به ۲۱۳۹ تن در سناریوی ۳۵٪ و تا ۲۶۸۸ تن در سناریوی ۷۰٪ افزایش داده است. همچنین، مجموع آلودگی هوای تصفیه‌شده سالانه از ۱۲۴۶۰ کیلوگرم در سال ۱۴۰۴ به ۱۶۸۶۲ کیلوگرم در سناریوی ۳۵٪ و ۲۱۱۸۹ کیلوگرم در سناریوی ۷۰٪ ارتقا یافته است، که این روند افزایشی در تمام آلاینده‌ها قابل مشاهده است. ارزش مالی سالانه خدمات زیست‌محیطی نیز به ترتیب از ۵۴۰۵۷ دلار در وضعیت فعلی به ۷۳۱۵۶ دلار در سناریوی ۳۵٪ و ۹۱۹۲۹ دلار در سناریوی ۷۰٪ افزایش یافته است.

برای تحقق این سناریوها، با توجه به محدودیت‌های ساختاری، منابع مالی و شرایط اقلیمی منطقه ۱۲ تهران، بازه‌های زمانی متفاوتی پیش‌بینی شده است. سناریوی ۳۵٪، با تمرکز بر استفاده از فضاهای موجود مانند حاشیه خیابان‌ها، پشت‌بام‌ها و زمین‌های بایر، در بازه زمانی کوتاه‌مدت تا میان‌مدت (۵ تا ۱۰ سال، یعنی تا سال‌های ۱۴۱۰-۱۴۱۵) قابل دستیابی است. این سناریو با مدیریت



نمودار ۲: نتایج نظر سنجی پرسش‌های ۱۲ تا ۲۳ (منبع: نگارندگان)

۳-۴. سوالات تشریحی

در بخش پنجم پرسش‌نامه، پاسخ‌های تشریحی شرکت‌کنندگان درباره راهکارهای کاهش آلودگی هوا، حفاظت از باغات تاریخی و سایر نظرات انتقادی گردآوری شده که خلاصه‌ای از پرتکرارترین پیشنهادهای در جدول ۴ ارائه شده است. این پاسخ‌ها نشان می‌دهند که دیدگاه عمومی به سمت ضرورت برنامه‌ریزی پایدار با محوریت فضای سبز و میراث طبیعی گرایش دارد.

۴. آینده‌نگری

سناریوهای آینده‌نگر (جدول ۵) با افزایش پوشش سبز به میزان

جدول ۴: نتایج نظر سنجی بخش اختیاری (منبع: نگارندگان)

اقدامات لازم برای کاهش آلودگی هوا در منطقه ۱۲	پیشنهادهای حفظ یا احیای باغات تاریخی	سایر توضیحات یا انتقادات
۱. "کنترل سخت‌گیرانه ترافیک وسایل نقلیه و تشویق به استفاده از وسایل نقلیه الکتریکی."	۱. "دولت باید بودجه اختصاصی برای مرمت و حفظ باغات تاریخی در نظر بگیرد."	۱. "منطقه ۱۲ به شدت تحت تأثیر توسعه شهری و تخریب باغات قرار گرفته است."
۲. "افزایش فضای سبز و حفظ باغات تاریخی."	۲. "باید از تخریب باغات تاریخی جلوگیری شود."	۲. "شهروندان نیاز به فضای سبز بیشتری دارند و دولت باید به این موضوع توجه کند."
۳. "قانون‌گذاری برای محدود کردن فعالیت‌های صنعتی و ساخت‌وساز."	۳. "آموزش و آگاهی‌بخشی به شهروندان درباره اهمیت باغات تاریخی."	۳. "عدم برنامه‌ریزی صحیح شهری باعث شده باغات تاریخی به فراموشی سپرده شوند."
۴. "آموزش و آگاهی‌بخشی به شهروندان درباره اهمیت کاهش آلودگی."	۴. "اجرای قوانین سخت‌گیرانه علیه تخریب باغات."	۴. "آلودگی هوا در منطقه ۱۲ به حدی بالا است که بهداشت عمومی را تهدید می‌کند."
۵. "نصب فیلترهای آلودگی در کارخانه‌ها و کاربرد فناوری‌های سبز."	۵. "تشویق مردم به مشارکت در پروژه‌های احیای باغات."	۵. "شهرداری باید مسئولیت بیشتری در حفظ باغات تاریخی بر عهده بگیرد."
۶. "توسعه حمل‌ونقل عمومی و کاهش استفاده از خودروهای شخصی."	۶. "استفاده از فناوری‌های نوین برای مرمت و نگهداری باغات."	۶. "باید به مشکلات سلامتی ناشی از آلودگی هوا توجه بیشتری شود."
۷. "اجرای قوانین محیط زیستی با جرائم سنگین برای متخلفان."	۷. "ایجاد گردشگری فرهنگی در باغات تاریخی برای تأمین مالی."	۷. "باغات تاریخی نه تنها برای محیط زیست، بلکه برای هویت فرهنگی مهم هستند."
۸. "تقویت نظارت دولتی بر منابع آلودگی هوا."	۸. "حمایت از پروژه‌های تحقیقاتی مرتبط با باغات تاریخی."	۸. "افزایش فعالیت‌های صنعتی و ساخت‌وساز بدون برنامه‌ریزی مشکل اصلی است."
۹. "تشویق به استفاده از انرژی‌های تجدیدپذیر مانند خورشیدی و بادی."	۹. "ایجاد فضای گفت‌وگو بین دولت، شهرداری و شهروندان."	۹. "شهروندان باید در تصمیم‌گیری‌های مربوط به پوشش‌های گیاهی و آلودگی شهری مشارکت کنند."
۱۰. "حمایت از پروژه‌های شهری مرتبط با کاهش آلودگی."	۱۰. "تشویق سرمایه‌گذاری خصوصی در حفظ باغات."	۱۰. "عدم هماهنگی نیازهای مردمی و شهروندان باعث شده مشکلات حل نشود."

جدول ۵: سناریوهای افزایش پوشش سبز باغ نگارستان (منبع: نگارندگان)

سناریو افزایش پوشش سبز				
میزان پوشش سبز درختی (هکتار)				
میزان سودمندی پوشش گیاهی درختی				
پارامترها	میزان	ارزش مالی (دلار)	میزان	ارزش مالی (دلار)
تصویر کربن سالانه	کربن تصویب شده	۲۱.۳۹	۲۷۸۳	۲۶.۸۸
Carbon (تن)	ذخیره شده در درخت (توجه: این نرخ سالانه نیست)	۵۳۷.۱۹	۶۹۸۸۴	۳۳.۹۰
تصویر آلودگی هوا سالانه (کیلوگرم)	کربن مونواکسید	CO	۲.۰۴	۳
	نیتروژن دی اکسید	NO2	۸.۰۶	۱
	اوزون	O3	۹۷.۱۲	۶۲
	سولفور دی اکسید	SO2	۱۷.۳۹	۰
	ذرات کوچک تر از ۲.۵ میکرون	PM2.5	۵.۰۷	۱۳۱
	ذرات بزرگ تر از ۲.۵ میکرون و کوچک تر از ۱۰ میکرون	PM10	۳۸.۹۴	۲۹۰
	میزان کل آلودگی		۱۶۸.۶۲	۴۸۹
میزان کل ارزش مالی سالانه (دلار آمریکا)				
۷۳۱۵۶				
۹۱۹۲۹				

حاکمی از آن است که کاهش ۶۰٪ پوشش درختی باغ نگارستان از دهه ۱۳۲۰ تا ۱۴۰۴، غلظت ذرات معلق کوچکتر از ۲.۵ میکرون (PM2.5) و ذرات معلق کوچکتر از ۱۰ میکرون (PM10) را افزایش داده و عوارض زیست محیطی و سلامتی متعددی ایجاد کرده است. بر اساس داده‌های جدول ۱ [۹، ۱۸، ۱۹-۲۲]، افزایش ۱۰ میکروگرم بر مترمکعب در غلظت ذرات معلق کوچکتر از ۲.۵ میکرون (PM2.5) نرخ مرگومیر را ۲.۹٪ (فاصله اطمینان ۰.۹٪: ۵.۹٪) و برای ذرات معلق کوچکتر از ۱۰ میکرون (PM10) نرخ مرگومیر را ۱.۶۲٪ (فاصله اطمینان ۰.۹۵٪: ۳.۴۶٪) افزایش داده است. همچنین، افزایش ۱ قسمت در میلیارد (ppb) در غلظت دی اکسید نیتروژن (NO2) و ازن (O3) به ترتیب مرگومیر را ۱.۵٪ (فاصله اطمینان ۰.۸٪: ۱.۵٪) و ۰.۶٪ (فاصله اطمینان ۰.۱٪: ۱.۱٪) افزایش داده است. این اثرات از طریق مکانیسم‌هایی مانند نقص عملکرد اندوتلیال (Endothelial Dysfunction) و استرس اکسیداتیو (Oxidative Stress) به ویژه در گروه‌های آسیب‌پذیر (افراد بالای ۶۵ سال) رخ می‌دهند.

سناریوهای بهبود پوشش سبز با استفاده از نرم‌افزار آی-تری کنوپی مدل‌سازی شدند. در سناریوی افزایش ۳۵٪ پوشش سبز، که در بازه ۵ تا ۱۰ سال (۱۴۱۰-۱۴۱۵) قابل تحقق است، غلظت ذرات معلق کوچکتر از ۲.۵ میکرون (PM2.5) ۲۴٪ کاهش یافت، که با توجه به جدول ۱ مرگومیر مرتبط با این آلاینده را ۰.۷٪ (۰.۲۹٪ × ۰.۲۴) کاهش می‌دهد. برای ذرات معلق کوچکتر از ۱۰ میکرون (PM10)، کاهش ۲۴٪ آلودگی مرگومیر را ۰.۳۹٪ (۰.۶۲٪ × ۰.۲۴) کاهش می‌دهد. اثر ترکیبی کاهش دی اکسید نیتروژن (NO2) (۰.۳۶٪ × ۰.۲۴) و

منابع فعلی و کاشت گونه‌های بومی مقاوم (مانند چنار و سرو) و استفاده از فناوری‌های سبز مانند بام‌های سبز امکان‌پذیر است. در مقابل، سناریوی ۷۰٪، که نیازمند بازطراحی گسترده فضاهای عمومی، احیای کامل باغ نگارستان و سرمایه‌گذاری بلندمدت است، در بازه زمانی بلندمدت (۱۵ تا ۲۰ سال، یعنی تا سال‌های ۱۴۲۰-۱۴۲۵) قابل تحقق است. این بازه زمانی به دلیل نیاز به زیرساخت‌های پیشرفته، هماهنگی بین نهادی و تأمین بودجه برای کاشت درختان بالغ و احیای اکوسیستم باغ پیش‌بینی شده است. این تخمین‌ها بر اساس تحلیل ظرفیت‌های فیزیکی باغ، داده‌های نرم‌افزار آی-تری کنوپی (i-Tree Canopy) و الگوهای موفق احیای فضای سبز در شهرهای مشابه (مانند پارک‌های شهری در سئول و لندن) انجام شده است [۵، ۶، ۸].

این مقایسه‌ها نشان می‌دهند که افزایش پوشش سبز، به ویژه در سطوح بالا، نه تنها مزایای اکولوژیکی چشمگیری مانند کاهش آلاینده‌ها و جذب کربن به همراه دارد، بلکه از نظر اقتصادی نیز بازدهی قابل توجهی در ارتقای کیفیت زیست محیطی باغ فراهم می‌آورد.

۵. بحث و نتیجه گیری

نتایج این پژوهش (مطابق جدول ۶ و ۷) نشان‌دهنده نقش محوری پوشش سبز شهری در کاهش آلودگی هوا و ارتقای سلامت عمومی در مناطق پرتراکم مانند منطقه ۱۲ تهران است. تحلیل داده‌های میدانی و شبیه‌سازی‌های انجام‌شده با نرم‌افزار آی-تری کنوپی

برنامه‌ریزی شهری باید از چارچوب سنتی توسعه عمرانی فراتر رفته و با ایجاد شبکه‌های اکولوژیکی، به مدیریت گرمای شهری، باران‌های شدید و تقویت روحیه اجتماعی کمک کند. این رویکرد می‌تواند سالانه صدها مرگ قابل پیشگیری را در تهران کاهش دهد و عدالت زیست‌محیطی را در مناطق متراکم تقویت کند.

جدول ۶: نتایج کلیدی (منبع: نگارندگان)

مؤلفه	نتیجه‌گیری کلیدی
پوشش سبز و نرخ مرگ و میر	هر ۱۰٪ افزایش پوشش سبز $\approx$ ۶٪ کاهش در نرخ مرگ و میر
سلامت جمعیت	حفظ باغات تاریخی $\approx$ کاهش نابرابری‌های سلامت در گروه‌های آسیب‌پذیر (سالمندان).
اقدامات پیشنهادی	برنامه‌ریزی پایدار شهری باید پوشش سبز و کاهش آلودگی را همزمان هدف قرار دهد.

۶. محدودیت‌های پژوهش و جهت‌گیری‌های آینده

این پژوهش با وجود ارائه یافته‌های ارزشمند، با محدودیت‌هایی مواجه بوده است. نخست، جمع‌آوری داده‌های پرسشنامه در ایام عید نوروز (۳ تا ۹ فروردین ۱۴۰۴) ممکن است به دلیل تعطیلات، به تعصب فصلی منجر شده باشد. دوم، چالش‌هایی نظیر پاسخ‌های ناقص (حذف ۳۰٪ پرسشنامه‌ها) و عدم دسترسی به داده‌های تاریخی بیش‌تر برای سالهای بیشتری از تحولات پوشش سبز خود یکی از محدودیت‌های پژوهش بوده است. برای پژوهش‌های آینده، پیشنهاد می‌شود مطالعات مشابهی در شهرهای دیگر ایران مانند اصفهان، اراک و شیراز با بررسی چندین فضای سبز تاریخی انجام شود تا تعمیم‌پذیری نتایج تقویت گردد. پژوهشگران می‌توانند با استفاده از روش‌های این مطالعه (نرم‌افزار آی-تری‌کنوی، تحلیل‌های مکانی، و نظرسنجی) و ترکیب رویکردهای چندمتغیره، اثرات پوشش سبز بر سلامت عمومی را در بافت‌های شهری متنوع بررسی کنند. همچنین، انجام مطالعات پرسشنامه‌ای در فصول مختلف و با داده‌های بلندمدت‌تر، دقت نتایج را افزایش خواهد داد.

جدول ۷: رابطه میان مؤلفه‌های اصلی (منبع: نگارندگان)

مؤلفه‌ها	پوشش سبز	غلظت PM2.5	غلظت PM10	نرخ مرگ و میر	سلامت تنفسی	سلامت روانی	بیماری‌های قلبی
پوشش سبز	-	↓↓ (قوی)	↓ (متوسط)	↓↓ (قوی)	↑↑ (قوی)	↑ (متوسط)	↑↑ (قوی)
غلظت PM2.5	↓↓ (قوی)	-	↑↑ (قوی)	↑↑ (قوی)	↓↓ (قوی)	↓ (متوسط)	↓↓ (قوی)
غلظت PM10	↓ (متوسط)	↑↑ (قوی)	-	↑ (متوسط)	↓ (متوسط)	↓ (ضعیف)	↓ (متوسط)
نرخ مرگ و میر	↓↓ (قوی)	↑↑ (قوی)	↑ (متوسط)	-	↓↓ (قوی)	↓ (متوسط)	↓↓ (قوی)
سلامت تنفسی	↑↑ (قوی)	↓↓ (قوی)	↓ (متوسط)	↓↓ (قوی)	-	↑ (متوسط)	↑↑ (قوی)
سلامت روانی	↑ (متوسط)	↓ (متوسط)	↓ (ضعیف)	↓ (متوسط)	↑ (متوسط)	-	↑ (متوسط)
بیماری‌های قلبی	↑↑ (قوی)	↓↓ (قوی)	↓ (متوسط)	↓↓ (قوی)	↑↑ (قوی)	↑ (متوسط)	-

ازن (O_3) ($0.24 \times 0.06 \approx 0.14$ ٪) منجر به کاهش کلی ۱۸٪ در نرخ مرگ و میر شد. در سناریوی ۷۰٪، که در بازه ۱۵ تا ۲۰ سال (۱۴۲۰-۱۴۲۵) امکان‌پذیر است، غلظت ذرات معلق کوچکتر از ۲.۵ میکرون ($PM_{2.5}$) ۳۸٪ کاهش یافت، که مرگ و میر مرتبط با آن را ۱۰.۱٪ (۲.۹٪ $\times 0.38$) و برای ذرات معلق کوچکتر از ۱۰ میکرون (PM_{10}) ۶۲٪ (۱.۶۲٪ $\times 0.38$) کاهش داد. اثر ترکیبی کاهش دی‌اکسید نیتروژن (NO_2) (۱.۵٪ $\times 0.38 \approx 0.57$ ٪) و ازن (O_3) (۰.۳۸٪ $\times 0.23 \approx 0.09$ ٪) منجر به کاهش کلی ۲۷٪ در مرگ و میر شد. تحلیل رگرسیون خطی نشان داد که هر ۱۰٪ افزایش پوشش سبز، غلظت ذرات معلق کوچکتر از ۲.۵ میکرون ($PM_{2.5}$) را ۶.۳٪ کاهش می‌دهد، که مرگ و میر مرتبط را ۱۸.۱٪ (۲.۹٪ $\times 0.63$) کاهش می‌دهد. اثر ترکیبی کاهش سایر آلاینده‌ها (دی‌اکسید نیتروژن (NO_2) و ازن (O_3)) رابطه ۶٪ کاهش مرگ و میر به ازای هر ۱۰٪ افزایش پوشش سبز را تأیید کرد. این روابط با داده‌های میدانی، شبیه‌سازی‌های آی-تری‌کنوی، و مقایسه با الگوهای موفق در شهرهای سنول و لندن اعتبارسنجی شدند [۵، ۶، ۸، ۹، ۱۸، ۲۱، ۲۲].

داده‌های نظرسنجی از ۳۰۴ ساکن منطقه ۱۲ نشان داد که ۸۴٪ پاسخ‌دهندگان کاهش فضای سبز و آلودگی هوا را عامل اصلی تهدید سلامت جسمی و روانی خود می‌دانند، با میانگین امتیاز ۴.۶ تا ۴.۹ (در مقیاس ۵) برای تأثیر آلودگی بر بیماری‌های قلبی-ریوی و سلامت روان. همچنین، ۷۲٪ خواستار احیای باغ نگارستان به‌عنوان فضای هیبریدی تلفیقی از تاریخ، طبیعت و سلامت عمومی بودند. تحلیل همبستگی در جدول ۷ نشان‌دهنده روابط قوی (همبستگی نزدیک به ۱) بین افزایش پوشش سبز و کاهش مرگ و میر، بهبود سلامت تنفسی و قلبی، و کاهش غلظت ذرات معلق کوچکتر از ۲.۵ میکرون ($PM_{2.5}$) است، در حالی که روابط ضعیف‌تر (نزدیک به ۱-) برای تأثیر ذرات معلق کوچکتر از ۱۰ میکرون (PM_{10}) بر سلامت روان مشاهده شد. این یافته‌ها بر نقش باغ‌های تاریخی مانند نگارستان به‌عنوان زیرساخت‌های طبیعی مقاومت‌پذیر تأکید دارند که نه تنها عملکرد اکولوژیکی (مانند جذب ۰.۲ تن دی‌اکسید کربن در هکتار سالانه) دارند، بلکه سرمایه‌گذاری استراتژیک برای کاهش نابرابری‌های سلامت و ارتقای پایداری زیست‌محیطی هستند.

پیوست ۱

جدول پ ۱: پرسشنامه میدانی (منبع: نگارندگان)

بخش	سوالات	نوع پاسخ
بخش اول: اطلاعات جمعیت‌شناختی	۱ جنسیت: مرد / زن	کلی
	۲ سن: زیر ۲۰ سال / ۲۰-۳۵ سال / ۳۶-۵۰ سال / بالای ۵۰ سال	
	۳ مدت زمان سکونت در منطقه ۱۲: کمتر از ۴ سال / ۵ سال / ۵-۱۰ سال / بیش از ۱۰ سال	
	۴ سطح تحصیلات: دیپلم یا کمتر / کارشناسی / کارشناسی ارشد و بالاتر	
بخش دوم: پوشش گیاهی و باغات تاریخی	۵ به نظر من، باغات تاریخی منطقه ۱۲ نقش مهمی در کاهش آلودگی هوا دارند.	کلی
	۶ تخریب باغات و فضای سبز در منطقه ۱۲ بر افزایش آلودگی هوا تأثیرگذار بوده است.	
	۷ پوشش گیاهی موجود در منطقه برای بهبود کیفیت هوا کافی نیست.	
	۸ احساس می‌کنم فضای سبز عمومی (پارک‌ها، باغات) در منطقه ۱۲ در حال کاهش است.	
	۹ دولت و شهرداری باید اقدامات فوری برای حفظ باغات تاریخی منطقه انجام دهند.	
	۱۰ آیا فکر می‌کنید کمبود فضای سبز در منطقه ۱۲ تا چه اندازه به افزایش مشکلات تنفسی شهروندان کمک کرده است؟	
	۱۱ به نظر شما، باغات تاریخی منطقه ۱۲ تا چه اندازه به کاهش آلاینده‌های صوتی و خلأ فرهنگی در منطقه کمک می‌کنند؟	
	۱۲ آلودگی هوا در منطقه ۱۲ نسبت به ۵ سال گذشته افزایش یافته است.	
	۱۳ در روزهای آلوده، علائمی مانند سرفه، تنگی نفس یا سوزش چشم را تجربه می‌کنم.	
	۱۴ آلودگی هوا بر سلامت روان من (استرس، اضطراب، افسردگی) تأثیر منفی گذاشته است.	
بخش سوم: آلودگی هوا و تأثیرات آن	۱۵ آلودگی هوا موجب تشدید بیماری‌های تنفسی (مانند آسم) یا قلبی در من یا خانواده‌ام شده است.	کلی
	۱۶ به نظر من، منابع اصلی آلودگی هوا در منطقه ۱۲ ترافیک خودروها و صنایع هستند.	
	۱۷ آیا فکر می‌کنید کمبود فضای سبز در منطقه ۱۲ تا چه اندازه به افزایش آلودگی هوا کمک کرده است؟	
	۱۸ به نظر شما، کدام منبع آلودگی (صنعتی، ترافیک، ساخت‌وساز) بیشترین تأثیر را بر کیفیت هوا در منطقه ۱۲ دارد؟	
	۱۹ کیفیت زندگی من به دلیل آلودگی هوا کاهش یافته است.	
	۲۰ دسترسی به فضای سبز (پارک‌ها، باغات) بر سلامت جسمی و روانی من تأثیر مثبت دارد.	
	۲۱ در صورت افزایش پوشش گیاهی، سلامت عمومی ساکنان منطقه بهبود می‌یابد.	
	۲۲ آلودگی هوا باعث محدودیت در فعالیت‌های روزانه من (پیاده‌روی، ورزش) شده است.	
	۲۳ به‌طور کلی، منطقه ۱۲ برای زندگی سالم، محیط مناسبی نیست.	
	۲۴ آیا فکر می‌کنید حفظ باغات تاریخی می‌تواند به کاهش بیماری‌های قلبی و تنفسی کمک کند؟	
بخش پنجم: سوالات تکمیلی (انتخابی)	۲۵ به نظر شما چه اقداماتی برای کاهش آلودگی هوا در منطقه ۱۲ ضروری است؟	تجزیه
	۲۶ آیا پیشنهاد خاصی برای حفظ یا احیای باغات تاریخی منطقه دارید؟	
	۲۷ سایر توضیحات یا انتقادات	

- health, 12, 1-16.
12. Google. (2025, April 22). [Aerial map of a location in Tehran] [Satellite imagery]. Google Earth. Retrieved from <https://earth.google.com/web/>
 13. Hu, M., Liu, B., & Yin, G. S. (2024). Multi-Site and Multi-Pollutant Air Quality Data Modeling [Article]. *Sustainability*, 16(1), 16, Article 165. <https://doi.org/10.3390/su16010165>
 14. Iran-Front-Page. (2024). Iran Health Ministry: Tehran 19th most polluted capital in world. <https://ifpnews.com/iran-health-ministry-tehran-19th-most-polluted-capital-world/>
 15. Jamaati, H., Attarchi, M., Hassani, S., Farid, E., Seyedmehdi, S. M., & Pormehr, P. S. (2018). Investigating air quality status and air pollutant trends over the Metropolitan Area of Tehran, Iran over the past decade between 2005 and 2014. *Environmental Health and Toxicology*, 33(2).
 16. Karimi, B., & Shokrinezhad, B. (2021). Air pollution and the number of daily deaths due to respiratory causes in Tehran. *Atmospheric Environment*, 246, 118161.
 17. Karimi moshaver, m., Mansouri, S.-A., & adibi, a. a. (2010). Relationship Between The Uurban Landscape and Position of Tall Building In The City. *The Monthly Scientific Journal of Bagh-e Nazar*, 7(13), 89-99. https://www.bagh-sj.com/article_28_ff41c313eb50f042b5673fef0f137452.pdf
 18. Kermani, M., Dowlati, M., Jonidi Jafari, A., Rezaei Kalantari, R., & Sadat Sakhaei, F. (2016). Effect of air pollution on the emergency admissions of cardiovascular and respiratory patients, using the air quality model: a study in Tehran, 2005-2014. *Health in Emergencies and Disasters Quarterly*, 1(3), 137-146.
 19. Nafetehroon [@nafetehroon]. (2025, April 21). [Photograph of a scene in Tehran]. Instagram. https://www.instagram.com/p/ChxS_uBNS-y/
 20. Niu, X. Y., Yan, C., Tian, X., Chen, S. T., Dai, W. T., Mei, H. J., Huang, Y., Hu, T. F., Sun, J., & Cao, J. J. (2024). Household Air Pollution in Three Urban Function Areas and Related Respiratory Health Effects. *AEROSOL SCIENCE AND ENGINEERING*. <https://doi.org/10.1007/s41810-024-00227-7>
 21. Ranjbaran, M., Mohammadi, R., Yaseri, M., Kamari, M., & Yazdani, K. (2022). Ambient temperature and air pollution, and the risk of preterm birth in Tehran, Iran: A time series study. *The Journal of Maternal-Fetal & Neonatal Medicine*, 35(4), 726-737.
 22. Zhou, M., He, G., Liu, Y., Yin, P., Li, Y., Kan, H., Fan, M., Xue, A., & Fan, M. (2015). The associations between ambient air pollution and adult respiratory mortality in 32 major Chinese cities, 2006-2010. *Environmental Research*, 137, 278-286.

References

1. Aghazadeh, F., Bageri, S., Garajeh, M. K., Ghasemi, M., Mahmodi, S., Khodadadi, E., & Feizizadeh, B. (2023). Spatial-temporal analysis of day-night time SUHI and its relationship between urban land use, NDVI, and air pollutants in Tehran metropolis. *Applied Geomatics*, 1-22.
2. Anderson, H. R., Atkinson, R. W., Peacock, J. L., Marston, L., Konstantinou, K., & Organization, W. H. (2004). Meta-analysis of time-series studies and panel studies of particulate matter (PM) and ozone (O3): report of a WHO task group.
3. Azizallah, D., Khanjani, N., Bahrampour, A., Goudarzi, G., & Yunesian, M. (2018). The relation between air pollution and respiratory deaths in Tehran, Iran-using generalized additive models. *BMC pulmonary medicine*, 18(1), 1-9.
4. BBC-NEWS. (2022). Tehran's air pollution in 2019 has 'caused the loss of 45 thousand years of life for residents'. <https://www.bbc.com/persian/iran-60052335>
5. Dong, G., Ge, Y., Liu, J., Kong, X., & Zhai, R. (2023). Evaluation of coupling relationship between urbanization and air quality based on improved coupling coordination degree model in Shandong Province, China. *Ecological Indicators*, 154, 110578.
6. Fomba, M., Osunde, Z. D., Traore, S. S., Okhimamhe, A., Kleemann, J., & Fürst, C. (2024). Urban Green Spaces in Bamako and Sikasso, Mali: Land Use Changes and Perceptions [Article]. *Land*, 13(1), 20, Article 59. <https://doi.org/10.3390/land13010059>
7. Fu, J. R., Fu, H. F., Zhu, C. P., Sun, Y., & Cao, H. H. (2024). Assessing the health risk impacts of urban green spaces on air pollution - Evidence from 31 China's provinces. *Ecological Indicators*, 159, Article 111725. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2024.111725>
8. Ghorbankhani, Z., Zarrabi, M. M., & Ghorbankhani, M. (2024). The significance and benefits of green infrastructures using I-Tree canopy software with a sustainable approach. *Environment, Development and Sustainability*, 26(6), 14893-14913.
9. Heger, M., Sarraf, M., & Heger, M. P. (2018). Air pollution in Tehran: health costs, sources, and policies.
10. Hirokawa, K. H. (2011). Sustainability and the urban forest: An ecosystem services perspective. *Natural resources journal*, 233-259.
11. Hoek, G., Krishnan, R. M., Beelen, R., Peters, A., Ostro, B., Brunekreef, B., & Kaufman, J. D. (2013). Long-term air pollution exposure and cardio-respiratory mortality: a review. *Environmental*