

Evaluating the Ecological Functions of Vegetation Cover in Enhancing Citizens' Health and Quality of Life in the Masoudieh and Nezamieh Gardens, with an Emphasis on the Baharestan District of Tehran

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

- 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 (IKIU).
- 3- Corresponding Author, 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). * medi@arc.ikiu.ac.ir

Date of submission: 2025/10/30 Revision: 2025/12/28 Acceptance: 2025/12/31

Abstract

Rapid and unsustainable urbanization in Tehran, particularly within dense and historic districts like District 12, has led to a reduction in vegetation cover, an increase in impervious surfaces, and exacerbated air pollution. These conditions have resulted in consequences such as the formation of urban heat islands, increased concentrations of particulate matter, and threats to public health, especially in the southern and western parts of Tehran. Vegetation plays a key role in improving air quality and citizen health through its ability to absorb carbon dioxide, produce oxygen, and reduce pollutant concentrations. However, the decline of green spaces in historic gardens like Negarestan, Masoudieh, and Nezamiyeh has weakened these ecological functions. This research analyzes the changes in vegetation cover in Masoudieh and Nezamiyeh gardens from 1887 to 2025 (1266 to 1404 in the Solar Hijri calendar) and examines its relationship with air quality and the health of local residents, using historical data, satellite imagery, software simulations (i-Tree Canopy), and field surveys. The results indicate a dramatic decrease in the green cover of Nezamiyeh Garden from 4 hectares in 1887 to 0.026 hectares in 2025, while Masoudieh Garden's cover has decreased from 0.9 to 0.74 hectares. This significant loss of vegetation has led to a severe decline in the capacity to filter pollutants, reduced carbon dioxide sequestration, and a diminished economic value of ecosystem services. Questionnaire findings also reveal that citizens perceive the reduction in green space and the rise in air pollution as direct causes of physical and mental health problems, emphasizing the need for formal institutional interventions to restore historic gardens and expand green areas. For future planning, two scenarios were modeled: increasing the green cover in the gardens to 35% and 70%. The minimum scenario (35%), which utilizes vacant spaces and roadsides, represents a realistic approach for gradual restoration. The maximum scenario (70%), involving the complete reconstruction of the gardens, offers the potential to restore historical ecosystem services. The modeling shows that increasing vegetation cover significantly reduces the concentration of particulate matter, enhances carbon dioxide absorption and the value of ecosystem services, and improves public health. This research underscores the importance of reconstructing and preserving historic gardens in dense urban fabrics and proposes practical solutions for developing historical green spaces to achieve environmental sustainability, ecological justice, and an enhanced quality of life for citizens.

Keywords: Nezamiyeh Garden, Masoudieh Garden, Air Pollution, Mortality Rate, Vegetation

ارزیابی کارکرد اکولوژیکی پوشش های گیاهی در ارتقای سلامت و کیفیت زندگی شهروندان در باغ های مسعودیه و نظامیه، با تأکید بر محدوده بهارستان تهران^۱

کامیاب کیانی^۱، مهدی زندیه^۲، حسین مدی^{۳*}، محمد مهدی ضرابی^۴، مریم آزموده^۵

۱- پژوهشگر دکتری معماری، دانشکده معماری و شهرسازی، دانشگاه بین المللی امام خمینی (ره)، قزوین، ایران،

۲- استاد گروه معماری، دانشکده معماری و شهرسازی، دانشگاه بین المللی امام خمینی (ره)، قزوین، ایران.

۳- نویسنده مسئول، دانشیار گروه معماری، دانشکده معماری و شهرسازی، دانشگاه بین المللی امام خمینی (ره)، قزوین، ایران.

۴- دانشیار گروه مهندسی علوم باغبانی، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه بین المللی امام خمینی (ره)، قزوین، ایران.

۵- استادیار گروه معماری، دانشکده معماری و شهرسازی، دانشگاه بین المللی امام خمینی (ره)، قزوین، ایران.

*medi@arc.ikiu.ac.ir

پذیرش: ۱۴۰۴/۱۱/۰۷

بازنگری: ۱۴۰۴/۱۰/۱۵

تاریخ ارسال: ۱۴۰۴/۰۸/۰۴

چکیده:

شهرنشینی سریع و ناپایدار در تهران، به ویژه در بافت های تاریخی و متراکم مانند منطقه ۱۲، باعث کاهش پوشش گیاهی، افزایش سطوح غیرقابل نفوذ و تشدید آلودگی هوا شده است. این شرایط پیامدهایی چون ایجاد جزایر حرارتی شهری، افزایش غلظت ذرات معلق و تهدید سلامت عمومی به ویژه در جنوب و غرب تهران را در پی داشته است. پوشش گیاهی با توانایی جذب دی اکسید کربن، تولید اکسیژن و کاهش غلظت آلاینده ها، نقش کلیدی در ارتقای کیفیت هوا و سلامت شهروندان دارد؛ با این حال، کاهش فضای سبز در باغ های تاریخی مانند باغ نگارستان، مسعودیه و نظامیه، این عملکردهای اکولوژیکی را تضعیف کرده است. این پژوهش با استفاده از داده های تاریخی، تصاویر ماهواره ای، شبیه سازی نرم افزاری (i-Tree Canopy) و بررسی میدانی، تحولات پوشش گیاهی باغ های مسعودیه و نظامیه را طی بازه زمانی ۱۲۶۶ تا ۱۴۰۴ تحلیل کرده و رابطه آن با کیفیت هوا و سلامت ساکنان منطقه بررسی شده است. نتایج نشان می دهد که پوشش سبز باغ نظامیه از هکتار در سال ۱۲۶۶ به ۰.۰۲۶ هکتار در ۱۴۰۴ کاهش یافته و باغ مسعودیه از ۰.۹ به ۰.۷۴ هکتار رسیده است؛ کاهش چشمگیر پوشش گیاهی موجب افت شدید توانایی تصفیه آلاینده ها، کاهش جذب دی اکسید کربن و کاهش ارزش اقتصادی خدمات اکوسیستمی شده است. یافته های پرسشنامه ای نیز نشان می دهد که شهروندان کاهش فضای سبز و افزایش آلودگی هوا را عامل مستقیم بروز مشکلات جسمی و روانی می دانند و نیاز به مداخلات نهادهای رسمی برای احیای باغ های تاریخی و توسعه فضای سبز را تأکید می کنند. برای آینده نگری، دو سناریو افزایش پوشش سبز به ۳۵٪ و ۷۰٪ در باغ ها مدل سازی شد. سناریوی حداقل (۳۵٪) با استفاده از فضاهای خالی و حاشیه معابر، رویکردی واقع گرایانه برای احیای تدریجی است و سناریوی حداکثر (۷۰٪) با بازسازی کامل باغ ها، امکان بازگرداندن خدمات اکولوژیکی تاریخی را فراهم می آورد. مدل سازی نشان می دهد که افزایش پوشش گیاهی به طور قابل توجهی غلظت ذرات معلق را کاهش داده، جذب دی اکسید کربن و ارزش خدمات اکوسیستمی را ارتقا می دهد و سلامت عمومی را بهبود می بخشد. این تحقیق بر اهمیت بازسازی و حفاظت از باغ های تاریخی در بافت های شهری متراکم تأکید دارد و ارائه راهکارهای عملی برای توسعه فضای سبز تاریخی را با هدف پایداری محیطی، عدالت زیست محیطی و ارتقای کیفیت زندگی شهروندان پیشنهاد می کند.

کلمات کلیدی: باغ نظامیه، باغ مسعودیه، آلودگی هوا، نرخ مرگ و میر، گیاهان

^۱ این مقاله مستخرج از رساله دکتری، کامیاب کیانی پژوهشگر دکتری معماری با عنوان (تأثیر پوشش گیاهی بر آلاینده های محیطی در پهنه های 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 بین المللی امام خمینی (ره) می باشد.

۱. مقدمه

در سال‌های اخیر، گسترش سریع شهرنشینی، شهرها را به کانون‌های کلیدی صنایع، تجارت و فرهنگ مبدل ساخته، اما پیشرفت‌های ناپایدار بدون در نظر گیری محدودیت‌های زیست‌محیطی، عواقبی مانند کم شدن پوشش گیاهی، گسترش سطوح غیرقابل نفوذ و وخامت آلودگی هوا را به بار آورده است (Aghazadeh et al., 2023; Anderson et al., 2004). این مسائل در کلان‌شهر تهران، که حدود ۷۳۰ کیلومتر مربع وسعت دارد، به دلیل تعارض میان گسترش فیزیکی و نیازهای زیست‌محیطی، به‌خصوص در نواحی مرکزی و تاریخی همچون منطقه ۱۲، برجسته‌تر است. تراکم شدید ساختمان‌سازی، کهنگی زیربناها و کمبود فضاهای سبز، پدیده‌هایی چون جزایر حرارتی شهری (با افزایش دمای محلی تا ۳-۵ درجه سلسیوس) و تجمع آلاینده‌ها را شدت بخشیده و سطح رفاه شهروندان را پایین آورده است (Azizallah et al., 2018; BBC-NEWS, 2022).

آلودگی هوای تهران، که عمدتاً از منابع سیار (۹۰-۸۵ درصد انتشار آلاینده‌ها از وسایل نقلیه) و منابع ثابت (۱۵-۱۰ درصد از صنایع) ناشی می‌شود، به یک بحران عمده بدل گشته است (Heger et al., 2018). 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 حد مجاز سازمان بهداشت جهانی (۲۵ و ۵۰ میکروگرم بر مترمکعب) است (Heger et al., 2018; Kermani et al., 2016; Niu et al., 2024; Ranjbaran et al., 2022; Zhou et al., 2015). این آلاینده‌ها، به‌ویژه در نواحی جنوب و غرب تهران به سبب وارونگی حرارتی و فعالیت‌های انسانی، با رشد ۱۵ درصدی موارد اورژانسی مرتبط با بیماری‌های تنفسی و قلبی در ۱۴ سال گذشته و از دست رفتن بیش از ۴۵,۰۰۰ سال عمر شهروندان در سال ۲۰۱۹ همبستگی دارد (Hoek et al., 2013; Iran-Front-Page, 2024; Jamaati et al., 2018; Karimi & Shokrinezhad, 2021; Karimi moshaver et al., 2010). ایران از لحاظ آلودگی هوا، ششمین رتبه در خاورمیانه و بیست‌ویکمین در سطح جهانی را دارد و تهران نوزدهمین پایتخت آلوده جهان به شمار می‌رود (Hu et al., 2024). جدول ۱ اثرات اجزای آلاینده بر نرخ مرگ‌ومیر را خلاصه می‌کند (Heger et al., 2018; Kermani et al., 2016; Niu et al., 2024; Ranjbaran et al., 2022; Zhou et al., 2015). حاکمی از آن است که پوشش گیاهی، با جذب دی‌اکسید کربن (تا ۰.۲ تن در هکتار سالانه برای درختان بالغ)، تولید اکسیژن و خنک‌سازی محلی از راه سایه‌افکنی و تعرق، قادر است غلظت ذرات معلق کمتر از ۲.۵ میکرون ($PM_{2.5}$) و کمتر از ۱۰ میکرون (PM_{10}) را تا ۲۰-۴۰ درصد کم کند (Dong et al., 2023; Fomba et al., 2024; Fu et al., 2024; Ghorbankhani et al., 2024). با این وجود، کم شدن فضای سبز در بافت‌های تاریخی مانند منطقه ۱۲ تهران، ناشی از شهرنشینی متراکم و دگرگونی کاربری اراضی، عملکردهای اکولوژیکی را تضعیف نموده است. باغ نگارستان، که سهم پوشش سبز آن از ۶۵-۷۰ درصد مساحت در دهه ۱۳۲۰ به زیر ۳۰ درصد در سال ۱۴۰۴ افت کرده، مثالی روشن از این افول است (Dong et al., 2023). این افول با کاهش تنوع زیستی و تشدید آلودگی هوا همراه بوده و تهدیدی برای سلامت جامعه ایجاد کرده است.

این تحقیق، با تأکید بر باغ نگارستان، سیر تحولات پوشش گیاهی در طول هشت دهه (۱۳۲۱-۱۴۰۴) و نقش آن در کیفیت هوا و سلامت شهروندان را واکاوی می‌نماید. به منظور سنجش اثرات افزایش پوشش گیاهی بر کم کردن آلودگی هوا و ارتقای سلامت در محدوده میدان بهارستان، دو سناریو با رشد پوشش سبز به ۳۵ درصد و ۷۰ درصد تدوین و مدل‌سازی شده است. این سطوح، به عنوان حداقل و حداکثر، بر پایه مشاهدات میدانی، بررسی تاریخی باغ نگارستان و پژوهش‌های قبلی در باب پتانسیل‌های فضای سبز در بافت‌های شهری فشرده گزینش شده‌اند (Dong et al., 2023; Fomba et al., 2024). شواهد تاریخی نشان می‌دهد که پوشش سبز باغ نگارستان در دهه ۱۳۲۰ حدود ۶۵-۷۰ درصد مساحت را اشغال می‌کرد، اما تا سال ۱۴۰۴ به کمتر از ۳۰ درصد رسیده است (Dong et al., 2023). سناریوی ۳۵ درصدی، با بهره‌گیری از فضاهای خالی مانند حاشیه معابر و اراضی بایر، یک رویکرد واقع‌گرایانه برای احیا به شمار می‌رود. سناریوی ۷۰

درصدی، الهام گرفته از وضعیت گذشته باغ و متطلب مداخلات وسیع تر مانند بازسازی فضاهای عمومی و احیای جامع باغ نگارستان، حداکثری برای بازگشت به شرایط ایده آل تاریخی را در نظر دارد. (Fomba et al., 2024)

بر اساس ادبیات موجود، توسعه فشرده و ناپایدار شهری با کاهش پوشش گیاهی، افزایش سطوح غیرقابل نفوذ و تشدید آلودگی هوا همراه است که پیامدهایی چون شکل گیری جزایر حرارتی شهری، تجمع ذرات معلق و افت سلامت عمومی را در پی دارد. در این چارچوب، پوشش گیاهی به عنوان یک مؤلفه کلیدی اکولوژیکی، از طریق جذب آلاینده ها، خنک سازی محلی و بهبود تهویه طبیعی، نقش واسطی میان ساختار کالبدی شهر و کیفیت هوا ایفا می کند. کاهش فضای سبز در بافت های تاریخی و متراکم، از جمله منطقه ۱۲ تهران و باغ نگارستان، این عملکردهای تنظیم کننده را تضعیف کرده و منجر به افزایش مواجهه شهروندان با آلاینده های خطرناک شده است. بر این اساس، پژوهش حاضر بر این فرض استوار است که افزایش هدفمند پوشش گیاهی در بافت های تاریخی شهری می تواند با کاهش غلظت ذرات معلق، به بهبود شاخص های سلامت عمومی و ارتقای پایداری و عدالت زیست محیطی منجر شود. این رابطه مفهومی از طریق بررسی تحولات تاریخی پوشش گیاهی و مدل سازی سناریوهای مختلف توسعه فضای سبز مورد آزمون قرار می گیرد.

این پژوهش، با ادغام داده های تاریخی، مشاهدات میدانی و مدل سازی، فرضیه ای دال بر پیوند معنادار میان افزایش پوشش گیاهی، کاهش ذرات معلق و بهبود معیارهای سلامت عمومی را طرح ریزی کرده و پیشنهادهایی برای بازسازی فضاهای سبز تاریخی با هدف دستیابی به عدالت زیست محیطی و پیشرفت پایدار عرضه می دارد.

جدول ۱: ارتباط بین آلاینده های هوا و مرگ و میر تنفسی در شهرهای بزرگ (منبع: (Heger et al., 2018; Kermani et al., 2016; Karimi & Shokrinezhad, 2021; Niu et al., 2024; Ranjbaran et al., 2022; Zhou et al., 2015)

متغیرهای آلودگی	افزایش در غلظت	تأثیر بر مرگ و میر	گروه آسیب پذیر	مکانیسم کلیدی
ذرات معلق با قطر کمتر از ۲.۵ میکرومتر	PM2.5 ۱۰+ میکروگرم بر مترمکعب	+10 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ۲۰٪ افزایش (فاصله اطمینان ۵.۹-۱۲.۶٪)	≤۶۵ سال	نقص عملکرد اندوتلیال (عملکرد ضعیف رگ ها)، استرس اکسیداتیو (آسیب سلولی با افزایش رادیکال های آزاد)
ذرات معلق با قطر کمتر از ۱۰ میکرومتر	PM10 ۱۰+ میکروگرم بر مترمکعب	+10 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ۲۲٪ افزایش (فاصله اطمینان ۳.۴-۳۰.۲٪)	≤۶۵ سال	التهاب، استرس اکسیداتیو (آسیب سلولی با افزایش رادیکال های آزاد)
دی اکسید گوگرد	SO2 ۱+ قسمت در میلیارد	+1 ppb ۲۰٪ افزایش (قوی ترین ارتباط با مرگ و میر تنفسی ازای هر ۱ ppb افزایش)	≤۶۵ سال	آسیب به عملکرد ریه، تحریک راه های هوایی
مونوکسید کربن	CO ۱+ قسمت در میلیون	+1 ppm ۲۰٪ افزایش (فاصله اطمینان ۳۳-۱۵.۵٪)	جمعیت عمومی	مهار انتقال اکسیژن

دی اکسید نیتروژن	NO2	۱+ قسمت در میلیارد	+1 ppb	۱.۵٪ (فاصله اطمینان ۰.۸٪-۱.۵٪)	جمعیت عمومی	عفونت راه های هوایی، آسیب به عملکرد ریه
ازن (تری اکسید اکسیژن)	O3	۱+ قسمت در میلیارد	+1 ppb	۰.۶٪ (فاصله اطمینان ۰.۱٪-۱.۱٪) (در فصول گرم)	متفاوت	استرس اکسیداتیو، تحریک دستگاه تنفسی

۱. روش شناسی تحقیق

این مطالعه با ادغام رویکردهای شبیه سازی و بررسی های میدانی، به دنبال نشان دادن نقش پوشش های گیاهی بر وضعیت سلامتی ساکنان در ناحیه تاریخی بهارستان تهران است. این تحقیق با تأکید بر باغ مسعودیه و نظامیه به عنوان یکی از برجسته ترین مناطق سبز تاریخی در مرکز تهران (منطقه ۱۲)، تحولات پوشش گیاهی این باغ ها را طی سالهای ۱۲۶۶، ۱۳۷۸ و ۱۴۰۴ تحلیل کرده است. به این منظور، از تصاویر ماهواره ای، نقشه های قدیمی، اطلاعات نرم افزار ارزیابی پوشش درختی شهری (i-Tree Canopy)، و بررسی های اکولوژیکی استفاده شده تا روند کاهش پوشش گیاهی و اثرات آن بر معیارهای کیفیت هوا و سلامت تنفسی مردم مورد کاوش قرار گیرد. فراتر از ارزیابی داده های محیطی و بهداشتی، این پژوهش از طریق پرسشنامه میدانی، دیدگاه عمومی درباره آلودگی هوا، وضعیت فضای سبز و پیامدهای آن بر سلامت در این ناحیه را نیز سنجیده است. یافته های حاصل، مبنایی برای تدوین دو طرح بازسازی باغ مسعودیه و نظامیه با گسترش گام به گام پوشش گیاهی ایجاد کرده و فرصتی برای سنجش تأثیرات احتمالی هر طرح بر ارتقای کیفیت هوا و بهبود سلامت جامعه فراهم می آورد. این رویکرد نه تنها درک عمیق تری از پیوندهای میان منظر شهرنشینی، آلودگی و بهداشت به ارمغان می آورد، بلکه مدلی قابل گسترش برای نوسازی مناطق سبز تاریخی در سایر شهرهای دارای آب و هوای گرم و نیمه خشک نیز عرضه می کند.

جدول ۲: وضع موجود باغ نظامیه و مسعودیه (منبع: نگارنده)

	
باغ نظامیه	باغ مسعودیه

در سال ۲۰۰۶ میلادی، مشارکت مشترک میان وزارت کشاورزی آمریکا و سرویس جنگلداری ایالات متحده به توسعه نرم افزار ارزیابی پوشش درختی شهری (i-Tree Canopy) منجر شد. این ابزار، به عنوان یکی از عناصر کلیدی در مجموعه نرم افزاری i-Tree، امروزه در آمریکا

و کشورهای دیگر به عنوان معیاری معتبر برای سنجش خدمات اکوسیستمی ناشی از پوشش‌های گیاهی در محیط‌های شهری به رسمیت شناخته می‌شود (Zhou et al., 2015).

نرم‌افزار ارزیابی پوشش درختی شهری (i-Tree Canopy) قابلیت نظارت دقیق بر سطح پوشش گیاهی، بررسی تأثیر آن در کم کردن آلاینده‌های متنوع، و همچنین محاسبه ارزش مالی این خدمات را عرضه می‌کند. در این مطالعه، از این ابزار بهره گرفته شده تا اطلاعات دقیق درباره نقش پوشش‌های سبز کنونی در باغ‌های مسعودیه و نظامیه در کاهش آلاینده‌ها به دست آید. این بررسی‌ها به روشنی آشکار می‌سازند که درختان و پوشش‌های گیاهی در این بخش مرکزی تهران، چگونه به‌طور مؤثری کیفیت هوا را ارتقا داده و از آسیب‌های آلودگی بر سلامت عمومی می‌کاهند.

پرسشنامه‌ای شامل ۲۶ سؤال برای سنجش نظرات اهالی منطقه ۱۲ تهران در خصوص کیفیت هوا، پوشش گیاهی و وضعیت سلامت جامعه تدوین گردید (بر اساس جدول پیوست ۱). این ابزار پس از مرور منابع نظری، کسب تأییدیه از کارشناسان حوزه‌های محیط زیست، بهداشت عمومی و طراحی شهری، و اجرای آزمون مقدماتی بر روی ۳۰ شرکت‌کننده، ویرایش و به شکل نهایی درآمد. اعتبار ابزار از طریق محاسبه آلفای کرونباخ ارزیابی شد. ضریب آلفای کرونباخ بر پایه فرمول زیر به دست آمد:

$$\text{آلفا} = (n / (n-1)) \times (1 - (\text{مجموع واریانس‌های سؤالات} / \text{واریانس کلی پاسخ‌ها}))$$

در این فرمول، n به تعداد سؤالات (۲۶) اشاره دارد، مجموع واریانس‌های سؤالات $(26 \times 0.8 = 20.8)$ ، و واریانس کلی پاسخ‌ها ۲۰.۵ است. با جایگذاری مقادیر:

$$\text{آلفا} = (26 / 25) \times (1 - (20.8 / 20.5)) \approx 0.79$$

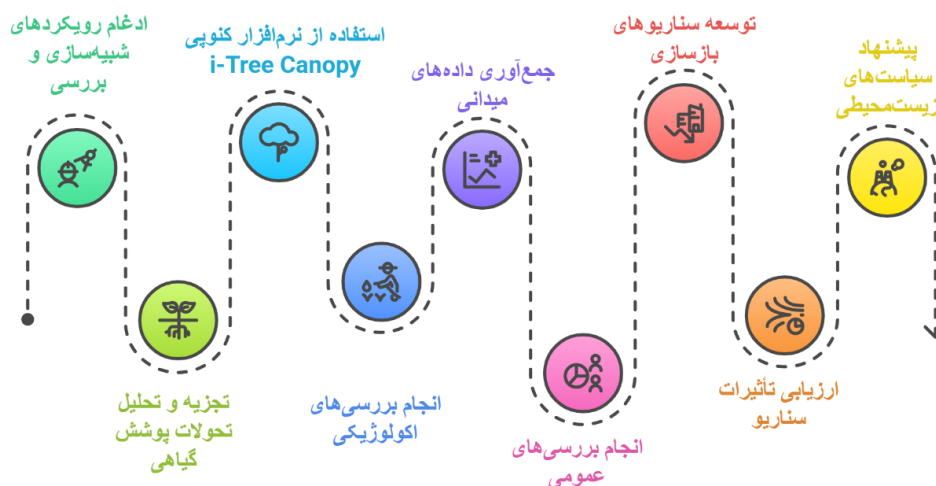
این رقم (۰.۷۹) بیانگر پایایی مطلوب ابزار (فراتر از حد استاندارد ۰.۷) است.

جامعه هدف، ساکنان منطقه ۱۲ تهران بودند. بر اساس فرمول کوکران (با سطح اطمینان ۹۵٪ و حاشیه خطای ۵٪)، اندازه نمونه اولیه ۳۸۴ نفر به روش نمونه‌گیری تصادفی طبقه‌ای (با توجه به متغیرهای سن، جنس و سطح تحصیلات) تعیین و انتخاب شد. گردآوری داده‌ها از ۳ تا ۹ فروردین ۱۴۰۴ در نواحی میدان بهارستان و باغ نگارستان صورت گرفت. پاسخ‌نامه‌های ناتمام (کمتر از ۸۰٪ تکمیل‌شده) و اطلاعات افرادی که اقامت کمتر از ۴ سال در منطقه داشتند (به سبب عدم شناخت کافی از شرایط محلی) کنار گذاشته شدند. از میان ۵۳۲ پرسشنامه جمع‌آوری‌شده، ۳۸۴ مورد برای بررسی نهایی به کار گرفته شد. توزیع نرمال داده‌ها با آزمون کولموگروف-اسمیرنوف ($p\text{-value} > 0.05$) اثبات گردید، که این امر قابلیت تعمیم‌پذیری یافته‌ها را تأیید می‌کند. در نهایت، داده‌ها با بهره‌گیری از آزمون‌های آماری مناسب پردازش شدند تا پیوند میان پوشش گیاهی، کیفیت هوا و سلامت مورد واکاوی قرار گیرد.

برای مدل‌سازی سناریوهای آبی باغ نظامیه و مسعودیه، با تکیه بر ارزیابی‌های میدانی محل تحقیق و بررسی داده‌های محیطی، اجتماعی و بوم‌شناختی، دو سناریو شامل افزایش پوشش گیاهی به ۳۵٪ (حداقل) و ۷۰٪ (حداکثر) تدوین شد. این سطوح با استفاده از نرم‌افزار کنوپی،

ارزیابی ظرفیت فیزیکی باغ، محدودیت‌های موجود، توجه به شرایط اقلیمی و اجتماعی، و مقایسه با الگوهای موفق در شهرهای همسان (مانند پارک‌های شهری در سئول و لندن) (Fomba Dong et al., 2023; Dong et al., 2023; Ghorbankhani et al., 2024) مشخص گردیدند. اطلاعات تاریخی بیانگر آن است که پوشش گیاهی باغ نگارستان در دهه ۱۳۲۰ شمسی حدود ۶۵-۷۰٪ از مساحت آن را در بر می‌گرفت، اما تا سال ۱۴۰۴ کاهش چشمگیری را تجربه کرده است. سناریوی ۳۵٪، با بهره‌برداری از فضاهای خالی موجود نظیر حاشیه‌های مسیرها و اراضی بایر، به عنوان حداقل الزامی برای کاهش آلاینده‌ها و حفظ هویت تاریخی باغ تعیین گردید. سناریوی ۷۰٪، الهام گرفته از وضعیت گذشته باغ و نیازمند سرمایه‌گذاری درازمدت و بازسازی فضاهای عمومی، به عنوان حداکثر مطلوب برای بهره‌برداری بهینه از خدمات اکوسیستمی و بازسازی کامل باغ برگزیده شد.

این تحقیق به واکاوی تغییرات پوشش گیاهی طی چندین دهه در باغ‌های نظامیه و مسعودیه تهران و نقش آن بر آلودگی هوا و وضعیت سلامت ساکنان می‌پردازد. با به‌کارگیری داده‌های تاریخی، تصاویر ماهواره‌ای و رویکردهای تحلیلی پیشرفته (طبق شکل ۱)، یافته‌ها نشان می‌دهند که کاهش فضای سبز به تشدید آلودگی هوا و عواقب زیان‌بار بر سلامت (از جمله مرگ‌ومیر مرتبط با آلاینده‌ها) بیانجامد. علاوه بر این، مطالعه تأثیر گسترش ناهمگون شهری بر تخریب ساختارهای طبیعی و اکولوژیکی را بررسی نموده و پیشنهاد می‌کند که نوسازی فضاهای سبز تاریخی می‌تواند به بهبود سیاست‌های زیست‌محیطی در تهران و شهرهای مشابه یاری رساند و کیفیت محیطی را ارتقا بخشد.



شکل ۱: فرآیند پژوهش (منبع: نگارندگان)

۲. اعتبار سنجی مدل سازی

اعتبارسنجی مدل‌های شبیه‌سازی شده یکی از مراحل حیاتی در پژوهش‌های مبتنی بر نرم‌افزار است که صحت و قابلیت اتکای نتایج را تضمین می‌کند. به منظور اطمینان از دقت بالای برآوردها، روش نمونه‌گیری سیستماتیک با حداکثر دقت (۱۰۰۰ نقطه سنجش در هر سایت) به کار گرفته شد و سپس نتایج حاصل از شبیه‌سازی با داده‌های برداشت‌شده میدانی مقایسه گردید. به موازات فرآیند شبیه‌سازی،

یک برداشت میدانی دقیق با استفاده از روش پلات‌بندی^۲ و ترانسکت^۳ در هر باغ انجام پذیرفت. در این روش، مساحت واقعی تاج پوشش هر درخت با استفاده از ابزارهای اندازه‌گیری دقیق (مانند فتومتر و متر لیزر) محاسبه و در نهایت، مجموع مساحت تاج پوشش تمامی درختان در هر باغ به عنوان داده مبنا ثبت گردید. این داده‌ها به عنوان معیار اصلی برای سنجش دقت مدل مورد استفاده قرار گرفتند. همان‌طور که ملاحظه می‌شود، برآوردهای نرم‌افزار کنوپی در هر دو مورد، بسیار نزدیک به داده‌های میدانی است (مطابق جدول ۲) که حاکی از دقت و کارایی بالای این نرم‌افزار و روش نمونه‌گیری به کار گرفته شده دارد.

جدول ۲: مساحت تاج پوشش مبتنی بر تحلیل نرم افزاری و برداشت میدانی (منبع: نگارنده)

مساحت تاج پوشش برآورد شده توسط نرم‌افزار (هکتار)	مساحت تاج پوشش برداشت شده میدانی (هکتار)	باغ مورد سنجش
۰.۷۴	۰.۷۳۶	باغ مسعودیه
۰.۰۲۶	۰.۰۲۸	باغ نظامیه

در فرایند اعتبارسنجی نتایج حاصل از شبیه‌سازی تاج‌پوشش درختی با استفاده از نرم‌افزار کنوپی، مقادیر به‌دست‌آمده از مدل با داده‌های برداشت‌شده در میدان مقایسه شد تا میزان انطباق و دقت مدل تعیین شود. برای این منظور، دو باغ مسعودیه و نظامیه به عنوان نمونه مورد بررسی قرار گرفتند. در هر باغ با بهره‌گیری از ۱۰۰۰ نقطه نمونه‌برداری، برآورد تاج‌پوشش در نرم‌افزار انجام شد و سپس همان مقیاس در برداشت میدانی اندازه‌گیری گردید. مقایسه این داده‌ها نشان داد که میزان اختلاف بین شبیه‌سازی و اندازه‌گیری واقعی بسیار اندک است. به عنوان نمونه، در باغ مسعودیه مقدار شبیه‌سازی ۰.۷۴ هکتار و برداشت میدانی ۰.۷۳۶ هکتار بود که اختلافی بسیار کم را نشان می‌دهد. همچنین در باغ نظامیه مقدار شبیه‌سازی ۰.۰۲۶ هکتار و برداشت میدانی ۰.۰۲۸ هکتار ثبت شد که آن نیز اختلافی در حد دو هزارم هکتار است.

به منظور تحلیل دقیق‌تر میزان انطباق مدل با واقعیت، شاخص‌های آماری استاندارد شامل ضریب تعیین (R^2) و ریشه میانگین مربعات خطا (RMSE) محاسبه گردید. مقدار ضریب تعیین برای این دو باغ برابر با ۰.۹۹۹۹۷ به دست آمد که نشان‌دهنده انطباق تقریباً کامل مقادیر شبیه‌سازی‌شده با داده‌های میدانی است. به عبارت دیگر، مدل کنوپی توانسته است تقریباً تمامی تغییرات مشاهده‌شده در داده‌های واقعی را تبیین کند و این مقدار بیانگر کیفیت بسیار بالای برآوردهاست. از سوی دیگر، مقدار مربعات خطا برابر با ۰.۰۰۳۱ هکتار محاسبه شد که نشان می‌دهد متوسط خطای مدل در برآورد تاج‌پوشش کمتر از چهار هزارم هکتار است. این میزان خطا، نسبت به مقیاس باغ‌ها و دامنه تغییرات داده‌ها، بسیار ناچیز بوده و نشان‌دهنده عملکرد دقیق مدل است.

بر اساس این نتایج روشن می‌شود که اختلاف میان داده‌های شبیه‌سازی و برداشت میدانی در تمامی باغ‌ها در حد چند هزارم هکتار و در چارچوب خطای طبیعی نمونه‌برداری است و این هم‌خوانی بالا بیانگر قابلیت اعتماد بسیار زیاد مدل در برآورد تاج‌پوشش است. با توجه به دقت بالای مدل، سازگاری داده‌های شبیه‌سازی‌شده با واقعیت و کارایی قابل توجه روش نمونه‌برداری با ۱۰۰۰ نقطه، می‌توان نتیجه گرفت که خروجی‌های نرم‌افزار کنوپی برای این پژوهش از اعتبار لازم برخوردار بوده و می‌تواند با اطمینان در تحلیل‌های فصل‌های بعدی مورد استفاده قرار گیرند.

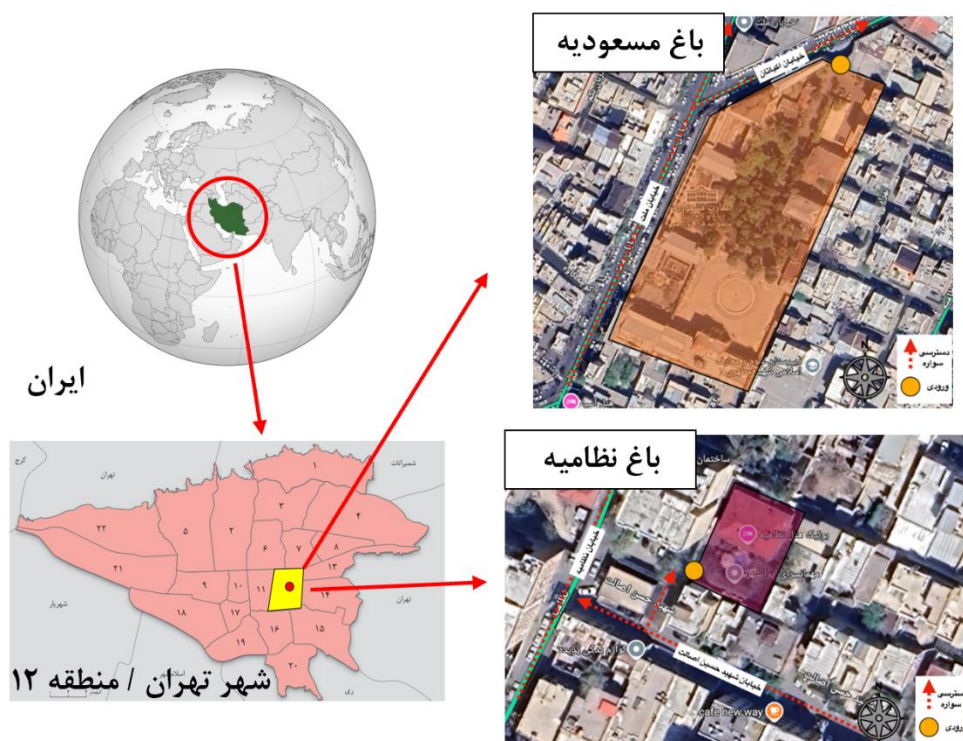
۳. تغییرات سیمای منظر باغ مسعودیه و نظامیه

^۲ انتخاب یک یا چند قطعه زمین نمونه (پلات) با شکل و ابعاد مشخص (دایره) در داخل منطقه مورد مطالعه.

^۳ ایجاد یک یا چند خط نمونه‌برداری (ترانسکت) در طول منطقه مورد مطالعه

باغ‌های تاریخی مسعودیه و نظامیه، از مهم‌ترین عناصر سبز و میراثی در محدوده تاریخی میدان بهارستان به‌شمار می‌روند (شکل ۲). باغ مسعودیه با وسعتی حدود ۱۰۳ هکتار و باغ نظامیه با مساحتی نزدیک به ۰۰۶ هکتار، در قلب تهران و در مجاورت با یکی از متراکم‌ترین بافت‌های تاریخی پایتخت واقع شده‌اند. این دو باغ در ساختار سبز تاریخی منطقه، نقشی مؤثر در تلطیف هوا، کاهش دمای محیط و بهبود کیفیت زیست‌محیطی ایفا می‌کنند. موقعیت مکانی آن‌ها در محدوده مرکزی تهران، ارزش زیست‌اقلیمی، فرهنگی و تاریخی ویژه‌ای به این فضاها بخشیده است.

با این حال، طی دهه‌های اخیر، گسترش بی‌رویه ساخت‌وسازهای شهری و کاهش پوشش سبز اصیل، موجب افت کیفیت هوا، افزایش آلودگی محیطی و کاهش سلامت زیست‌پذیری در پیرامون این باغ‌ها شده است. بررسی این دو فضای سبز تاریخی، به‌ویژه از منظر نقش پوشش گیاهی در کاهش آلودگی هوا و ارتقای سلامت شهروندان، اهمیت بسیاری دارد؛ چرا که این باغ‌ها بخشی از هویت اکولوژیکی و فرهنگی میدان بهارستان را شکل داده و حفظ و احیای آن‌ها می‌تواند در بهبود کیفیت زندگی و پایداری محیطی این بخش از شهر نقشی کلیدی ایفا کند.

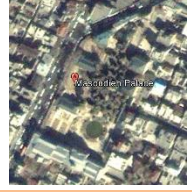


شکل ۲: محدوده مورد مطالعه (منبع: نگارندگان)

در بازه زمانی سال‌های ۱۲۶۶، ۱۳۷۸ و ۱۴۰۴، پوشش سبز باغ‌های تاریخی مسعودیه و نظامیه دستخوش تغییرات چشمگیری شده است که در میزان وسعت گیاهی، تراکم درختان و کارکردهای زیست‌محیطی آن‌ها به‌وضوح قابل مشاهده است. تحلیل‌های انجام‌شده با بهره‌گیری از نقشه‌های تاریخی، تصاویر هوایی و داده‌های نرم‌افزار کنوپی، روندی از کاهش تدریجی پوشش سبز و تغییر ساختار اکولوژیکی باغ‌ها را نشان می‌دهد.

انتخاب سال‌های یادشده به دلیل دسترسی به داده‌های معتبر و فاصله‌های زمانی مناسب برای تحلیل روندهای میان‌مدت و بلندمدت صورت گرفته است. نتایج بررسی‌ها حاکی از آن است که در سال ۱۲۶۶ (شیرازیان، ۱۳۹۶)، باغ مسعودیه در یکی از دوره‌های اوج شکوفایی اکولوژیکی خود قرار داشته و بخش عمده‌ای از مساحت ۱.۳ هکتاری آن با پوشش درختی متراکم احاطه شده بود؛ در حالی که در همان دوره، باغ نظامیه با وسعت عظیم خود، یکی از سبزترین باغات محدوده بهارستان بوده است. در سال ۱۳۷۸ (Google Earth, 2025)، هر دو باغ به‌ویژه تحت‌تأثیر توسعه کالبدی و کاهش سطح نفوذپذیر زمین، کاهش قابل‌توجهی در پوشش گیاهی را تجربه کردند؛ روندی که در باغ نظامیه شدت بیشتری داشته است. با این حال، در سال‌های اخیر و بخصوص سال ۱۴۰۴ (Google Earth, 2025) و هم‌زمان با انجام طرح‌های مرمتی (مرمت باغ مسعودیه و تبدیل باغ نظامیه به هتل و کافی شاپ) و افزایش آگاهی نسبت به اهمیت میراث طبیعی شهری، افزایشی نسبی در میزان پوشش سبز مشاهده می‌شود، هرچند هنوز به شرایط اکولوژیکی مطلوب دهه ۱۳۲۰ بازنگشته‌اند. این تغییرات بیانگر ضرورت احیای ساختار سبز تاریخی و بازطراحی اکولوژیکی باغ‌های مسعودیه و نظامیه برای ارتقای کیفیت هوا و سلامت شهری در محدوده بهارستان است.

جدول ۲: نقشه‌های هوایی (منبع: (Tayebi, 2025; Google Earth, 2025))

عنوان	۱۲۶۶	۱۳۷۸	۱۴۰۴
تصویر هوایی			
باغ نظامیه			
باغ مسعودیه			

۴. تحولات زیست محیطی باغ نظامیه

تحولات گسترده در پوشش سبز باغ نظامیه (مطابق جدول ۳) تأثیر مستقیمی بر کارکردهای زیست‌محیطی و کیفیت زندگی در محدوده آن داشته است. در سال ۱۲۶۶ (شیرازیان، ۱۳۹۶)، باغ با وسعت بسیار زیاد خود (۳.۸ هکتار) توانایی بالایی در تصفیه آلاینده‌های هوا و جذب کربن داشت و به‌عنوان یک فضای سبز تاریخی، نقش مهمی در تعدیل شرایط محیطی و زیست‌محیطی منطقه ایفا می‌کرد. با این حال، طی بیش از یک قرن، بخش عمده‌ای از باغ تخریب شده و با توسعه‌های شهری و ساخت و ساز جایگزین شده است، به گونه‌ای که تنها بخش کوچکی از پوشش سبز و عناصر طبیعی آن باقی مانده است. این تغییرات بنیادی نه تنها باعث کاهش وسعت باغ شده، بلکه تراکم و تنوع پوشش گیاهی نیز به شدت کاهش یافته است که پیامدهای مستقیم و قابل توجهی بر کارکردهای اکولوژیکی و خدمات زیست‌محیطی باغ دارد.

به‌عنوان نمونه، میزان جذب دی‌اکسید کربن در سال ۱۲۶۶ حدود ۴۲.۵ تن بوده است، اما با تخریب بخش عمده‌ای از باغ در سال ۱۳۷۸ این مقدار به کمتر از ۰.۱ تن (شیرازیان، ۱۳۹۶) سقوط کرده و در سال ۱۴۰۴ (Google Earth, 2025) با احیای محدود پوشش سبز، تنها به حدود ۰.۲۵ تن افزایش یافته است. این تغییرات نشان می‌دهد که کاهش شدید وسعت و تراکم پوشش گیاهی منجر به افت تقریباً

کامل توانایی باغ در جذب دی اکسید کربن و عملکردهای اکولوژیکی آن شده و اقدامات احیایی اخیر، اگرچه مقداری از این ظرفیت را بازگردانده، هنوز نتوانسته جایگاه اکولوژیکی تاریخی باغ را احیا کند.

مجموع آلاینده‌های تصفیه‌شده توسط پوشش سبز باغ نیز روندی مشابه را نشان می‌دهد. در سال ۱۲۶۶، باغ قادر به تصفیه بیش از ۳۸۱ کیلو گرم آلاینده‌های هوا بوده است، اما در سال ۱۳۷۸ این ظرفیت به کمتر از ۰.۷ کیلوگرم کاهش یافت و در سال ۱۴۰۴ با احیای محدود پوشش سبز، به حدود ۱.۶ کیلوگرم افزایش یافته است. این داده‌ها بیانگر رابطه مستقیم میان کاهش تراکم و وسعت پوشش سبز و افت شدید عملکردهای زیست‌محیطی است و نشان می‌دهد که کاهش پوشش سبز تنها کاهش ظاهری مساحت نبوده، بلکه کیفیت و تراکم اکولوژیکی آن نیز به شدت کاهش یافته است.

ارزش مالی سالانه خدمات زیست‌محیطی باغ نیز همین روند را تأیید می‌کند. در سال ۱۲۶۶، ارزش اقتصادی این خدمات بیش از ۱۶۳۹۴۹ دلار بوده است، اما با تخریب گسترده باغ در سال ۱۳۷۸ به تنها ۳۹۷ دلار کاهش یافته و در سال ۱۴۰۴ با احیای نسبی پوشش سبز به ۱۰۵۴ دلار رسیده است. این ارقام نشان می‌دهند که ارزش خدمات اکوسیستمی باغ در طول زمان به شدت کاهش یافته و اقدامات محدود احیایی، گرچه بخشی از خدمات زیست‌محیطی را بازگردانده است، هنوز قادر به بازیابی کامل ظرفیت‌ها و عملکردهای تاریخی باغ نیست. این تحلیل‌ها نشان می‌دهند که باغ نظامیه نمونه‌ای بارز از تأثیر توسعه شهری بر فضاهای سبز تاریخی است؛ جایی که تخریب فیزیکی، کاهش تراکم پوشش گیاهی و تغییرات در الگوی فضایی باغ، عملکردهای زیست‌محیطی و خدمات اکوسیستمی آن را به شدت تحت تأثیر قرار داده است. به علاوه، این شرایط بر کیفیت زندگی و سلامت انسان‌ها در محدوده میدان بهارستان اثر گذاشته و ضرورت توجه به حفاظت، بازسازی و افزایش تراکم و تنوع پوشش گیاهی را برجسته می‌سازد. بدون برنامه‌ریزی دقیق و اقدامات احیایی هدفمند، بخش باقی‌مانده باغ نیز در معرض تهدید قرار دارد و خدمات اکولوژیکی آن به مرور کاهش خواهد یافت.

در مجموع، بررسی روندهای تاریخی پوشش سبز و کارکردهای زیست‌محیطی باغ نظامیه نشان می‌دهد که ترکیبی از فقدان مدیریت تاریخی، تخریب گسترده و اقدامات محدود احیایی باعث شده تا باغ، اگرچه هنوز نقش مهمی در منطقه ایفا می‌کند، اما توانایی اکولوژیکی و زیست‌محیطی آن به مراتب کمتر از ظرفیت تاریخی خود باشد. این موضوع اهمیت اقدامات بلندمدت و برنامه‌ریزی جامع برای حفاظت و احیای باغ‌های تاریخی شهر تهران را بیش از پیش آشکار می‌سازد.

جدول ۳: وضعیت پوشش سبز باغ نظامیه در سالهای ۱۲۶۶، ۱۳۷۸ و ۱۴۰۴ (منبع: نگارندگان)

سال		۱۲۶۶		۱۳۷۸		۱۴۰۴	
میزان پوشش سبز درختی (هکتار)		۳.۸		۰.۰۱		۰.۰۲۶	
میزان سودمندی پوشش گیاهی درختی							
پارامترها		میزان	ارزش مالی (دلار)	میزان	ارزش مالی (دلار)	میزان	ارزش مالی (دلار)
تصویه کربن دی اکسید سالانه Carbon (تن)	کربن تصویه شده	۴۲.۵	۵۵۴۰	۰.۱	۱۳	۰.۲۵	۳۳
	ذخیره شده در درخت (توجه: این نرخ سالانه نیست)	۱۰۷۵	۱۳۹۰۰۰	۲.۸	۳۵۰	۷.۵	۹۳۰
صویه آلودگی هوا سالانه (کیلوگرم)	کربن مونواکسید CO	۴.۵	۶۴	۰.۰۱	۰	۰.۰۲۵	۰
	نیتروژن دی اکسید NO2	۱۸.۲	۲۸	۰.۰۳	۰	۰.۰۶	۰
	اوزون O3	۲۲۰	۱۲۴۱	۰.۵	۳	۱.۳	۸

۰	۰.۲	۰	۰.۰۸	۴	۳۹.۵	SO2	سولفور دی اکسید
۰	۰.۰۵	۰	۰.۰۲	۲۶۱۱	۱۰.۵	PM2.5	ذرات کوچک تر از ۲.۵ میکرون
۳۷	۰.۲	۱۴	۰.۱	۵۷۵۷	۸۱.۳	PM10	ذرات بزرگ تر از ۲.۵ میکرون و کوچک تر از ۱۰ میکرون
۴۶	۱.۶	۱۷	۰.۷	۹۷۰۴	۳۸۱		میزان کل تصویه آلودگی
۱۰۵۴		۳۹۷		۱۶۳۹۴۹		میزان کل ارزش مالی سالانه (دلار آمریکا)	

۵. تحولات زیست محیطی باغ مسعودیه

تحولات پوشش گیاهی باغ تاریخی مسعودیه طی یک و نیم قرن گذشته، نشان دهنده تغییرات چشمگیر در عملکردهای زیست محیطی و ظرفیت اکولوژیکی این باغ است. بر اساس داده‌های به دست آمده از نرم افزار آی تری کنوپی، وسعت پوشش سبز درختی باغ از ۰.۹ هکتار در سال ۱۲۶۶ به ۰.۶۱ هکتار (شیرازیان، ۱۳۹۶) در سال ۱۳۷۸ کاهش یافته و در سال ۱۴۰۴ (Google Earth, 2025) به ۰.۷۴ هکتار رسیده است. این کاهش در میانه قرن، بازتابی از روند تخریب و ساخت و سازهای گسترده در محدوده باغ است، در حالی که افزایش نسبی سال ۱۴۰۴ نشان دهنده تلاش‌هایی برای احیای نسبی فضای سبز در دهه‌های اخیر است.

ظرفیت جذب سالانه دی اکسید کربن درختان از ۱۰.۰۲ تن در سال ۱۲۶۶ به ۶.۷۹ تن در ۱۳۷۸ کاهش یافته (کاهش حدود ۳۲ درصد) و در سال ۱۴۰۴ به ۸.۲۳ تن رسیده است (افزایش حدود ۲۱ درصد نسبت به ۱۳۷۸). این تغییرات منعکس کننده کاهش کارایی زیستی ناشی از کاهش تراکم تاج پوشش و کهنسالی بخشی از درختان در دهه‌های گذشته است.

در عین حال، میزان کربن ذخیره شده در بافت درختان (که شاخصی از جرم زنده و توده سبز پایدار است) از ۲۵۲.۵ تن در سال ۱۲۶۶ به ۱۷۱.۱ تن در ۱۳۷۸ کاهش یافته و سپس به ۲۰۷.۴ تن در سال ۱۴۰۴ رسیده است. هرچند این افزایش اخیر، نشانه‌ای از باززنده سازی تدریجی زی توده سبز است، اما هنوز حدود ۱۸ درصد کمتر از ظرفیت تاریخی باغ در اواخر دوره قاجار است.

عملکرد درختان باغ در حذف آلاینده‌های جوی، به ویژه در ترکیبات گازی و ذرات معلق، نیز دچار نوسان شده است. مجموع آلاینده‌های جذب شده در سال ۱۲۶۶ حدود ۸۸۴.۵ کیلوگرم بوده که در ۱۳۷۸ به ۶۰۰.۲ کیلوگرم کاهش یافته (افت ۳۲ درصدی) و در ۱۴۰۴ به ۷۲۷.۳ کیلوگرم افزایش یافته است (رشد ۲۱ درصدی نسبت به ۱۳۷۸). در میان آلاینده‌ها، بیشترین نقش تصفیه مربوط به ازن (O_3) و ذرات معلق (PM_{10} و $PM_{2.5}$) است که سهم اصلی را در عملکرد اکولوژیکی باغ دارند. با این حال، کاهش سطح تاج درختان بلند و از بین رفتن بخش‌هایی از حریم باغ در دهه‌های میانی، موجب افت محسوس ظرفیت تصفیه در این بازه تاریخی شده است.

ارزش مالی سالانه خدمات زیست محیطی باغ، که شامل تصفیه کربن، ذخیره و پالایش آلاینده‌های هواست، از ۳۶۰۷۳۸ دلار در سال ۱۲۶۶ به ۲۴۰۸۹۶ دلار در سال ۱۳۷۸ کاهش یافته (کاهش حدود ۳۲ درصدی) و در سال ۱۴۰۴ به ۳۰۰۰۷۹ دلار رسیده است. این روند، گرچه نشانه‌ای از بهبود نسبی است، اما هنوز بیانگر فاصله‌ای چشمگیر با ظرفیت تاریخی باغ در دوران اوج عملکرد زیست محیطی آن است.

در سطح کالبدی، باغ مسعودیه طی قرن اخیر به شدت دچار تخریب، تفکیک و تغییر کاربری شده است. بسیاری از بخش‌های پیرامونی آن در جریان گسترش شهری به ساختمان و خیابان تبدیل شده و تنها هسته مرکزی باغ، که شامل عمارت تاریخی و محدوده‌ای کوچک از

درختان کهنسال است، باقی مانده است. این امر موجب گسست اکولوژیکی و کاهش نقش باغ در تعدیل دمای محلی، رطوبت و کیفیت هوا در مقیاس شهری شده است.

سیر تحولات باغ مسعودیه را می توان در سه مرحله تفسیر کرد:

مرحله شکوفایی (۱۲۶۶ تا اوایل قرن چهاردهم): بیشترین وسعت پوشش سبز و بالاترین ظرفیت اکولوژیکی.

مرحله افول (میانه قرن چهاردهم تا دهه ۱۳۷۰): کاهش شدید زی توده و عملکرد زیست محیطی، ناشی از تخریب و ساخت و ساز.

مرحله احیای نسبی (دهه های اخیر تا ۱۴۰۴): بازکاشت محدود درختان و افزایش نسبی در جذب آلاینده ها و کربن.

به طور کلی، باغ مسعودیه امروز نمونه ای گویا از چالش همزیستی میراث تاریخی با پویایی شهر مدرن است؛ جایی که هرچند برخی روندهای احیایی آغاز شده، اما بازگشت کامل به ظرفیت های تاریخی مستلزم برنامه ریزی منسجم برای احیای ساختار سبز، تنوع گونه ای و پیوند اکولوژیکی با بافت پیرامونی است.

جدول ۴: وضعیت پوشش سبز باغ مسعودیه در سالهای ۱۲۶۶، ۱۳۷۸ و ۱۴۰۴ (منبع: نگارندگان)

سال			۱۳۷۸		۱۳۶۶		۱۴۰۴	
میزان پوشش سبز درختی (هکتار)			۰.۹		۰.۶۱		۰.۷۴	
میزان سودمندی پوشش گیاهی درختی								
پارامترها		میزان	ارزش مالی (دلار)	میزان	ارزش مالی (دلار)	میزان	ارزش مالی (دلار)	ارزش مالی (دلار)
صویه کربن دی اکسید سالانه Carbon (تن)	کربن تصویه شده	۱۰.۰۲	۱۳۰۴	۶.۷۹	۸۸۴	۸.۲۳	۱۰۷۰	
	ذخیره شده در درخت (توجه: این نرخ سالانه نیست)	۲۵۲.۵	۳۲۸۷۰	۱۷۱.۱	۲۲۲۷۰	۲۰۷.۴	۲۶۹۰۰	
تصویه آلودگی هوا سالانه (کیلوگرم)	کربن مونواکسید CO	۱۰.۷	۱۷	۷.۳	۱۱	۸.۹	۱۴	
	نیتروژن دی اکسید NO2	۴۲.۳	۷	۲۸.۷	۵	۳۴.۸	۶	
	اوزون O3	۵۰۹.۴	۳۲۷	۳۴۵.۷	۲۲۲	۴۱۸.۹	۲۶۹	
	سولفور دی اکسید SO2	۹۱.۲	۱	۶۱.۹	۱	۷۴.۹	۱	

۵۶۷	۲۱.۹	۴۷۰	۱۸.۱	۶۹۰	۲۶.۶	PM2.5	ذرات کوچک تر از ۲.۵ میکرون
۱۲۵۲	۱۶۷.۸	۱۰۳۳	۱۳۸.۵	۱۵۲۲	۲۰۴.۳	PM10	ذرات بزرگ تر از ۲.۵ میکرون و کوچک تر از ۱۰ میکرون
۲۱۰۹	۷۲۷.۳	۱۷۴۲	۶۰۰.۲	۲۵۶۴	۸۸۴.۵	میزان کل تصویه آلودگی	
۳۰۰۷۹		۲۴۸۹۶		۳۶۷۳۸		میزان کل ارزش مالی سالانه (دلار آمریکا)	

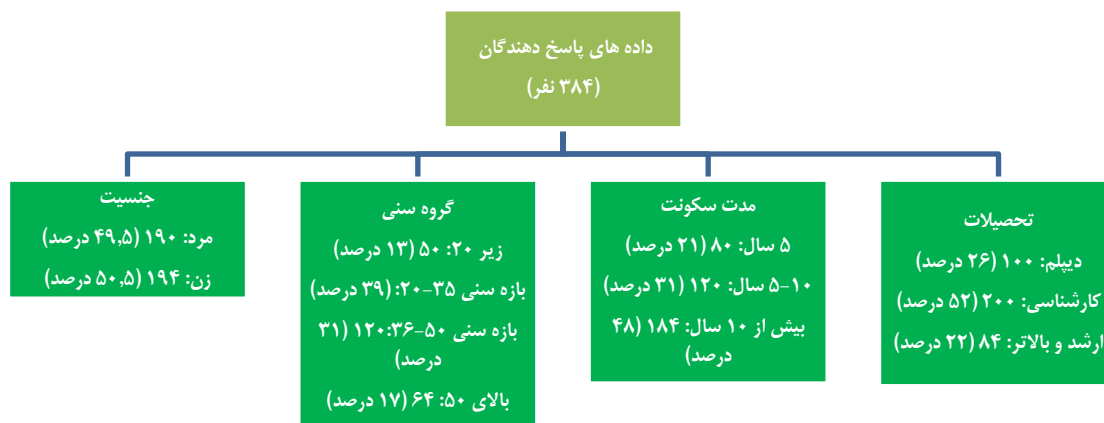
۴. اطلاعات جمعیت‌شناختی

در بخش مربوط به ویژگی‌های جمعیت‌شناختی پاسخ‌دهندگان، ترکیب جنسیتی تقریباً متعادل مشاهده می‌شود؛ به‌طوری که ۱۹۰ زن و ۱۹۴ مرد در مطالعه حضور داشته‌اند. این توازن، امکان تحلیل دیدگاه‌های هر دو جنس را با دقت و بی‌طرفی بیشتری فراهم می‌کند. داده‌ها نیز به‌صورت تصادفی و بر اساس الگوی واقعی جمعیت منطقه ۱۲ تهران تنظیم شده‌اند.

از نظر گروه سنی، بیشترین فراوانی مربوط به افراد ۲۰ تا ۳۵ سال (۱۵۰ نفر) و سپس ۳۶ تا ۵۰ سال (۱۲۰ نفر) است؛ به عبارت دیگر، بخش عمده‌ای از شرکت‌کنندگان را افراد در سنین کاری و فعال جامعه تشکیل می‌دهند، افرادی که به‌طور مستقیم با پیامدهای آلودگی هوا و کمبود پوشش سبز در تعامل روزمره خود مواجه‌اند.

از لحاظ سابقه سکونت، بخش قابل‌توجهی از پاسخ‌دهندگان (۱۸۴ نفر) بیش از ده سال در منطقه زندگی کرده‌اند؛ امری که نشان‌دهنده شناخت و درک عمیق آنان از تغییرات زیست‌محیطی و دگرگونی فضای سبز در گذر زمان است. سطح تحصیلات شرکت‌کنندگان نیز بالا گزارش شده، به‌گونه‌ای که ۲۰۰ نفر دارای مدرک کارشناسی و ۸۴ نفر دارای مدرک کارشناسی ارشد یا بالاتر بوده‌اند.

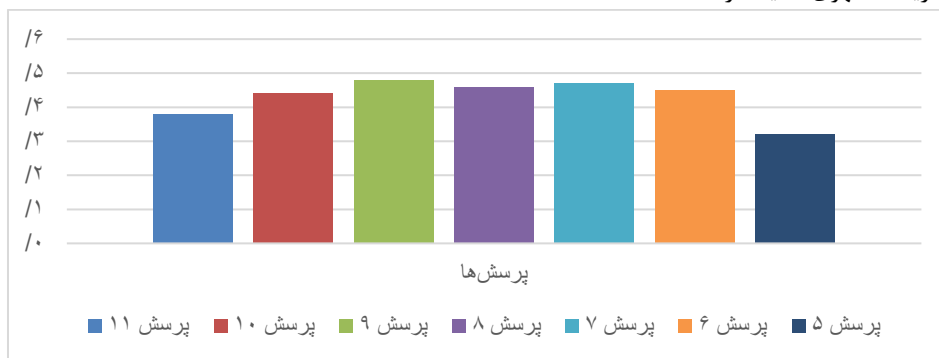
به‌طور کلی، همان‌گونه که در شکل ۳ نشان داده شده است، جامعه آماری این پژوهش از تنوع مطلوب، تجربه زیسته قابل توجه و تحصیلات دانشگاهی بالا برخوردار است که موجب افزایش اعتبار و قابلیت تعمیم نتایج تحقیق می‌شود.



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

۷. پوشش گیاهی و باغات تاریخی

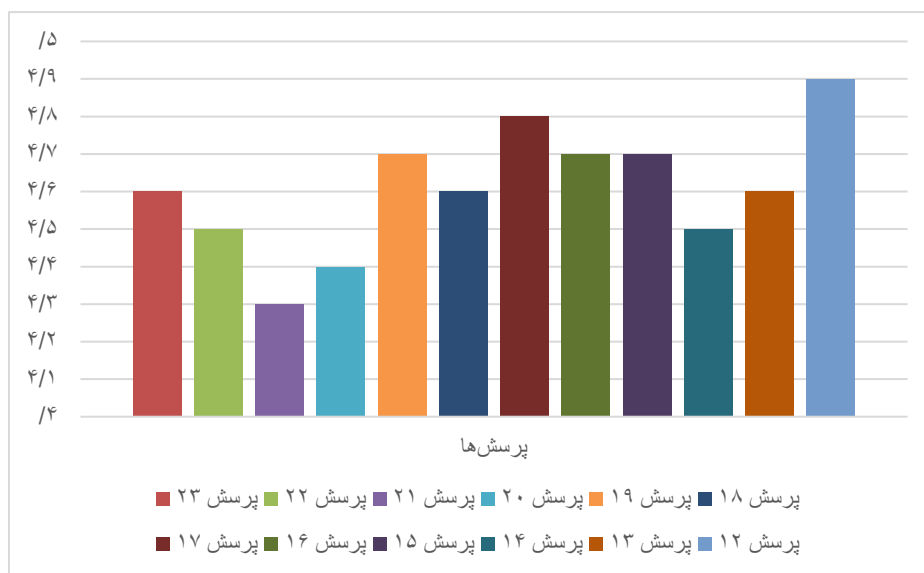
در بخش دوم پرسش نامه که به پوشش گیاهی و باغ های تاریخی اختصاص دارد، یافته ها نشان می دهد بیشتر پاسخ دهندگان به شدت معتقدند تخریب باغات تاریخی نقش مستقیم در تشدید آلودگی هوای منطقه داشته است (میانگین ۴.۵ از ۵). در عین حال، اغلب آن ها بر این باورند که میزان پوشش سبز کنونی پاسخگوی نیازهای زیست محیطی شهر نیست و نمی تواند کیفیت هوای مطلوبی ایجاد کند (میانگین ۴.۷). افزون بر این، بالاترین میزان توافق مربوط به ضرورت مداخله نهادهای رسمی، از جمله دولت و شهرداری، در راستای حفاظت و بازسازی فضاهای سبز تاریخی بوده است (میانگین ۴.۸)، که بیانگر حساسیت بالای اجتماعی نسبت به تخریب تدریجی این عرصه ها است. از منظر کارکردهای زیست محیطی نیز، بیشتر شرکت کنندگان نقش مثبت باغ های تاریخی در کاهش مشکلات تنفسی را با میانگین ۴.۴ و در کاهش آلودگی صوتی را با میانگین ۳.۸ ارزیابی کرده اند (نمودار ۱). این نتایج بر اهمیت چندبعدی حفظ باغات تاریخی در بهبود سلامت عمومی و کیفیت زیست شهری تأکید دارد.



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

۸. آلودگی هوا، سلامت و کیفیت زندگی

در بخش سوم پرسشنامه، تحلیل داده‌ها نشان می‌دهد که میزان نگرانی شهروندان نسبت به پیامدهای آلودگی هوا بر سلامت روانی، بروز علائم تنفسی و افزایش شیوع بیماری‌های قلبی-ریوی در محدوده‌ای بسیار بالا قرار دارد (میانگین ۴.۶ تا ۴.۹ از ۵). این امر بیانگر درک عمیق جامعه محلی از پیوند میان آلودگی هوا و تهدیدهای سلامت عمومی است. داده‌های حاصل از نرم‌افزار «آی‌تری کنوپی» و گزارش‌های رسمی پایش کیفیت هوای تهران حاکی از آن است که منابع اصلی آلاینده‌ها در منطقه ۱۲ عمدتاً شامل ترافیک شهری با سهمی بین ۸۵ تا ۹۰ درصد و فعالیت‌های صنعتی با سهمی بین ۱۰ تا ۱۵ درصد هستند (Heger et al., 2018; Kermani et al., 2016). این یافته‌ها با نتایج مطالعات پیشین هم‌راستا است که ترافیک موتوری و صنایع را به‌عنوان مهم‌ترین عوامل تولید ذرات معلق با قطر کمتر از ۲.۵ و ۱۰ میکرون ($PM_{2.5}$ و PM_{10}) در شهر تهران معرفی کرده‌اند (Ghorbankhani et al., 2024). غلظت بالای این ذرات در محیط‌های شهری نه‌تنها موجب افزایش بار بیماری‌های تنفسی و قلبی می‌شود، بلکه بر ابعاد روانی سلامت شهروندان از طریق ایجاد اضطراب زیست‌محیطی، کاهش احساس امنیت و محدودیت دسترسی به فضاهای تنفس‌پذیر نیز اثرگذار است. در ادامه، بیش از ۸۴ درصد از پاسخ‌دهندگان تأکید کرده‌اند که کاهش پوشش سبز شهری و دشواری دسترسی به فضاهای طبیعی، تأثیر مستقیم و منفی بر سلامت جسمی و روانی آن‌ها داشته است. این نتیجه، با ادبیات موجود پیرامون نقش ترمیمی و آرامش‌بخش فضاهای سبز در محیط‌های آلوده همخوانی دارد و ضرورت احیای ساختار سبز در بافت‌های متراکم و تاریخی شهر تهران را بیش از پیش برجسته می‌سازد.



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

۹. سؤالات تشریحی

در بخش پنجم پرسش‌نامه، نظرات تشریحی مشارکت‌کنندگان پیرامون راهکارهای کاهش آلودگی هوا، حفظ و احیای باغات تاریخی و نقدهای مرتبط با سیاست‌های مدیریت شهری جمع‌آوری و تحلیل گردید. چکیده‌ی پرتکرارترین و معنادارترین دیدگاه‌ها در جدول ۴ ارائه شده است. تحلیل محتوای این پاسخ‌ها نشان می‌دهد که گرایش غالب میان شهروندان، تأکید بر لزوم تدوین رویکردی پایدار در برنامه‌ریزی شهری است؛ رویکردی که در آن فضای سبز، باغات تاریخی و میراث طبیعی نه به‌عنوان عناصر تزئینی، بلکه به‌عنوان ارکان اصلی تعادل

زیست محیطی و کیفیت زیست شهری در نظر گرفته شوند. این دیدگاه‌ها بازتابی از افزایش آگاهی عمومی نسبت به پیوند میان میراث طبیعی و سلامت شهری بوده و ضرورت تغییر در الگوهای سیاست‌گذاری محیطی را برجسته می‌سازد.

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

توضیحات تکمیلی و نقدهای شهروندان	راهکارها برای حفظ یا احیای باغات	اقدامات پیشنهادی برای کاهش آلودگی هوا در منطقه ۱۲
توسعه شهری سریع باعث تخریب گسترده باغات شده است	اختصاص بودجه ویژه توسط دولت برای مرمت و نگهداری باغات تاریخی	اعمال محدودیت‌های شدید برای ترافیک شهری و تشویق به استفاده از وسایل نقلیه برقی
نیاز مبرم شهروندان به فضاهای سبز بیشتر، که توجه دولت را می‌طلبد	جلوگیری از هرگونه تخریب غیرقانونی و برنامه‌ریزی برای حفاظت از باغات	افزایش وسعت فضای سبز و حفاظت از باغات تاریخی موجود
ضعف برنامه‌ریزی شهری موجب فراموشی و تخریب باغات شده است	ارتقای آگاهی عمومی درباره اهمیت تاریخی و زیست محیطی باغات	تدوین و اجرای قوانین محدودکننده برای فعالیت‌های صنعتی و ساخت‌وساز
سطح بالای آلودگی هوا در منطقه، تهدیدی جدی برای سلامت عمومی است	اجرای مقررات سخت‌گیرانه برای جلوگیری از آسیب به باغات تاریخی	آموزش و اطلاع‌رسانی به شهروندان درباره پیامدهای آلودگی هوا
شهرداری باید مسئولیت بیشتری در حفظ باغات بر عهده بگیرد	تشویق مشارکت مردم در پروژه‌های احیای باغات	نصب فیلترها و فناوری‌های کاهش آلاینده در صنایع و کارخانه‌ها
توجه ناکافی به پیامدهای سلامت ناشی از آلودگی هوا	استفاده از فناوری‌های نوین در مرمت و نگهداری باغات	گسترش شبکه حمل‌ونقل عمومی و کاهش وابستگی به خودروهای شخصی
باغات تاریخی علاوه بر ارزش محیط‌زیستی، نقش مهمی در هویت فرهنگی دارند	ایجاد فرصت‌های گردشگری فرهنگی در باغات برای تأمین منابع مالی	اعمال مجازات‌های سنگین برای تخلفات زیست محیطی
افزایش فعالیت‌های صنعتی و ساخت‌وساز بدون برنامه‌ریزی، مشکل اصلی محسوب می‌شود	حمایت از پژوهش‌ها و پروژه‌های تحقیقاتی مرتبط با باغات تاریخی	تقویت نظارت و کنترل منابع آلاینده توسط نهادهای دولتی
مشارکت شهروندان در تصمیمات مربوط به فضای سبز و آلودگی شهری ضروری است	ایجاد بستر گفت‌وگو میان دولت، شهرداری و شهروندان برای تصمیم‌گیری مشترک	تشویق به بهره‌گیری از انرژی‌های تجدیدپذیر مانند خورشیدی و بادی
عدم هماهنگی میان نیازهای مردم و تصمیم‌گیرندگان موجب تداوم مشکلات شده است	جذب سرمایه‌گذاری خصوصی برای حفاظت و بازسازی باغات تاریخی	پشتیبانی از پروژه‌های شهری هدفمند برای کاهش آلودگی هوا

۱. آینده نگری: سناریوهای گسترش پوشش سبز

در راستای دستیابی به پایداری زیست محیطی و بهبود کیفیت اکوسیستم شهری، بخش آینده نگری بر سناریوهای افزایش پوشش گیاهی در باغ های تاریخی نظامیه و مسعودیه تمرکز دارد. این سناریوها، با فرض افزایش ۳۵ درصدی و ۷۰ درصدی سطح پوشش درختی، بر پایه مدل سازی دقیق با نرم افزار کنوپی تدوین شده اند و تأثیرات آن ها بر جذب کربن، پاک سازی آلاینده ها و ارزش اقتصادی خدمات اکوسیستمی را ارزیابی می کنند، انتخاب این سناریو ها با رویکرد حداقل و حداکثر مداخله بوده اند. این رویکرد نه تنها چالش های فعلی را مدنظر قرار می دهد، بلکه راهکارهای عملی برای اجرای تدریجی در بازه های زمانی کوتاه مدت، میان مدت و بلندمدت ارائه می دهد، با تأکید بر بهره گیری از منابع محلی و فناوری های سبز برای احیای این فضاهای تاریخی در منطقه ۱۲ تهران.

- باغ نظامیه

سناریوهای پیش بینی شده (جدول ۵) با گسترش پوشش گیاهی به ۳۵٪ و ۷۰٪، بر پایه ارزیابی مقایسه ای معیارهای زیست محیطی باغ نظامیه از طریق نرم افزار کنوپی، حاکی از نقش برجسته افزودنی پوشش درختی در ارتقای کارکردهای اکولوژیکی است. در حالت افزایش ۳۵٪، مساحت پوشش درختی به ۰۰۳۵ هکتار می رسد و در حالت ۷۰٪ به ۰۰۴۴ هکتار، که این ارقام نسبت به شرایط کنونی (۰۰۲۶ هکتار در سال ۱۴۰۴) پیشرفت چشمگیری را نشان می دهد. این توسعه پوشش گیاهی، به طور مستقیم حجم جذب سالانه کربن را از ۰۲۵ تن به ۰۳۴ تن در سناریوی ۳۵٪ و به ۰۴۴ تن در سناریوی ۷۰٪ بالا می برد. علاوه بر این، کل حجم آلاینده های جوی پاک سازی شده در سال از ۱۶ کیلوگرم در وضعیت فعلی به ۲۵ کیلوگرم در سناریوی ۳۵٪ و ۲۸ کیلوگرم در سناریوی ۷۰٪ صعود می کند، که این الگوی رو به رشد در همه آلاینده ها مشهود است. ارزش اقتصادی سالانه خدمات اکوسیستمی نیز از ۱۰۵۴ دلار در شرایط موجود به ۱۳۹۱ دلار در سناریوی ۳۵٪ و ۱۷۷۸ دلار در سناریوی ۷۰٪ جهش می یابد.

به منظور اجرای این سناریوها، با در نظر گرفتن چالش های ساختاری، بودجه ای و ویژگی های آب و هوایی منطقه ۱۲ تهران، دوره های زمانی متمایزی برآورد شده است. سناریوی ۳۵٪ با تأکید بر بهره برداری از نواحی در دسترس نظیر حاشیه معابر، پشت بام ها و اراضی خالی، در افق زمانی کوتاه مدت تا متوسط (۵ تا ۱۰ سال، معادل سال های ۱۴۱۵-۱۴۱۰) دست یافتنی است. این رویکرد با بهره گیری از منابع موجود، غرس گونه های محلی مقاوم (مانند چنار و سرو) و به کارگیری نوآوری های سبز مانند سقف های گیاهی، عملیاتی می شود. در حالی که سناریوی ۷۰٪، که به بازسازی جامع فضاهای عمومی، احیای کامل باغ نظامیه و تعهد مالی پایدار وابسته است، در چارچوب بلندمدت (۱۵ تا ۲۰ سال، یعنی سال های ۱۴۲۵-۱۴۲۰) قابل دستیابی خواهد بود. این بازه، به سبب ضرورت زیربنای مدرن، همکاری های بین سازمانی و تخصیص اعتبار برای کاشت درختان بالغ و بازسازی اکوسیستم باغ، تعیین شده است. برآوردها بر مبنای بررسی پتانسیل های فیزیکی باغ، اطلاعات نرم افزار i-Tree Canopy و تجربیات موفق بازسازی فضای سبز در شهرهای هم تراز (مانند پارک های شهری در استوول و لندن) صورت گرفته است.

این ارزیابی های تطبیقی تأکید می کنند که گسترش پوشش گیاهی، به خصوص در مقیاس های بالاتر، نه تنها دستاوردهای زیست محیطی قابل ملاحظه ای نظیر کاهش آلاینده ها و ذخیره سازی کربن به بار می آورد، بلکه از منظر مالی نیز کارایی بالایی در بهبود کیفیت اکولوژیکی باغ ایجاد می کند.

- باغ مسعودیه

برنامه ریزی های پیش رو (جدول ۵) در خصوص گسترش پوشش گیاهی تا ۳۵٪ و ۷۰٪، بر مبنای بررسی های مقایسه ای پارامترهای زیست محیطی باغ مسعودیه با بهره گیری از ابزار کنوپی، بر تأثیر شگرف افزایش سطح درختی بر تقویت فرآیندهای اکولوژیکی دلالت دارد. در چارچوب سناریوی ۳۵٪، مساحت پوشش درختی به ۱۰۰ هکتار ارتقا می یابد و در سناریوی ۷۰٪ به ۱۲۶ هکتار می رسد؛ این سطوح در مقایسه با شرایط موجود (۰۷۴ هکتار در سال ۱۴۰۴) پیشرفت چشمگیری را رقم می زنند. توسعه این پوشش گیاهی،

حجم ذخیره سازی سالانه کربن را از ۸.۲۳ تن به ۱۰.۹ تن در سناریوی ۳۵٪ و به ۱۳.۹ تن در سناریوی ۷۰٪ بالا می برد. علاوه بر این، کل ذرات آلاینده جوی پاک شده در سال از ۷۲۷.۳ کیلوگرم در وضعیت کنونی به ۹۶۰ کیلوگرم در سناریوی ۳۵٪ و ۱۲۲۹ کیلوگرم در سناریوی ۷۰٪ می رسد، الگویی که در تمامی شاخص های آلاینده ها تکرار می شود. سودآوری اقتصادی سالانه خدمات اکوسیستمی نیز از ۳۰,۰۷۹ دلار در شرایط فعلی به ۳۹,۷۰۴ دلار در سناریوی ۳۵٪ و ۵۰,۸۳۳ دلار در سناریوی ۷۰٪ صعود می کند. به منظور عملیاتی سازی این برنامه ها، با ملاحظه موانع ساختاری، بودجه ای و اقلیمی محله ۱۲ تهران، افق های زمانی متمایزی در نظر گرفته شده است. سناریوی ۳۵٪، که بر بهره مندی از نواحی قابل استفاده همچون کناره جاده ها، سطوح سقفی و زمین های متروکه تأکید دارد، در دوره کوتاه مدت تا متوسط مدت (۵ تا ۱۰ سال، برابر با سال های ۱۴۱۵-۱۴۱۰) دسترس پذیر است. دستیابی به این هدف از طریق بهینه سازی منابع موجود، غرس درختان بومی تنومند (مانند چنار و سرو) و به کارگیری راهکارهای نوین سبز نظیر بام های گیاهی ممکن می گردد. برعکس، سناریوی ۷۰٪- که به بازسازی اساسی نواحی عمومی، نوسازی جامع باغ مسعودیه و تخصیص منابع مالی مداوم نیاز دارد - در بازه بلندمدت (۱۵ تا ۲۰ سال، یعنی سال های ۱۴۲۵-۱۴۲۰) عملیاتی خواهد شد. این افق زمانی، به واسطه الزامات زیرساختی پیچیده، هم افزایی سازمانی و تأمین مالی برای افزودن درختان پرسن و بازآفرینی سیستم اکولوژیکی باغ، تدوین شده است. این برآوردها بر پایه ارزیابی قابلیت های جغرافیایی باغ، خروجی های نرم افزار i-Tree Canopy و الگوهای اثربخش نوسازی فضای سبز در کلان شهرهای همسان (مانند پارک های شهری سئول و لندن) استوار است. این تحلیل های هم سنجی بر آن دلالت دارند که تعمیم پوشش گیاهی، به ویژه در ابعاد گسترده، فراتر از دستاوردها اکولوژیکی برجسته ای چون مهار آلاینده ها و انباشت کربن، از دیدگاه مالی نیز بهره وری بالایی در غنی سازی کیفیت زیست محیطی باغ به ارمغان می آورد.

جدول ۵: سناریو های افزایش پوشش سبز باغ نظامیه و مسعودیه (منبع: نگارندگان)

باغ نظامیه										باغ مسعودیه							
سناریو افزایش پوشش سبز										٪۳۵		٪۷۰		٪۳۵		٪۷۰	
میزان پوشش سبز درختی (هکتار)										۰.۰۳۵		۰.۰۴۴		۱		۱.۲۶	
میزان سودمندی پوشش گیاهی درختی																	
پارامترها		میزان	ارزش مالی (دلار)	میزان	ارزش مالی (دلار)	میزان	ارزش مالی (دلار)	میزان	ارزش مالی (دلار)	میزان	ارزش مالی (دلار)						
تصویه کربن سالانه Carbon (تن)	کربن تصویه شده	۰.۳۴	۴۵	۰.۴۴	۵۸	۱۰.۹	۱۴۱۳	۱۳.۹	۱۸۰۷								
	ذخیره شده در درخت (توجه: این نرخ سالانه نیست)	۱۰.۳	۱۲۷۷	۱۳.۳	۱۶۴۹	۲۷۴	۳۵۵۴۹	۳۵۰	۴۵۴۳۱								
تصویه آلودگی هوا سالانه (کیلوگرم)	کربن مونواکسید CO	۰.۰۳۳	۰	۰.۰۳۹	۰	۱۱.۸	۱۸	۱۵	۲۴								
	نیتروژن دی اکسید NO2	۰.۰۷۹	۰	۰.۰۹۴	۰	۴۶	۸	۵۸.۸	۱۰								
	اوزون O3	۱.۷	۱۱	۲	۱۲	۵۵۳	۳۵۵	۷۰.۸	۴۵۵								

۲	۱۲۷	۱	۹۹	۰	۰.۳	۰	۰.۳	SO2	سولفور دی اکسید
۹۵۹	۳۷	۷۵۰	۲۹	۲	۰.۰۷۸	۲	۰.۰۶۶	PM2.5	ذرات کوچک تر از ۲.۵ میکرون
۲۱۱۷	۲۸۴	۱۶۵۵	۲۲۲	۵۷	۰.۳۱	۵۶	۰.۳	PM10	ذرات بزرگ تر از ۲.۵ میکرون و کوچک تر از ۱۰ میکرون
۳۵۶۷	۱۲۲۹	۲۷۸۷	۹۶۰	۷۱	۲.۸	۶۹	۲.۵	میزان کل آلودگی	
۵۰۸۳۳		۳۹۷۰۴		۱۷۷۸		۱۳۹۱		میزان کل ارزش مالی سالانه (دلار آمریکا)	

۱۰. بحث و نتیجه گیری

تحلیل داده‌های تاریخی، میدانی و مدل‌سازی شده نشان می‌دهد که باغ‌های تاریخی مسعودیه و نظامیه، هرچند از نظر وسعت و میزان تخریب تفاوت چشمگیری دارند، هر دو نقش مهمی در کیفیت زیست‌محیطی و سلامت انسانی محدوده بهارستان ایفا می‌کنند. باغ نظامیه با وسعت اولیه بیشتر (۳.۸ هکتار) و تخریب شدید، نمونه‌ای بارز از پیامدهای توسعه شهری بر فضاهای سبز تاریخی است، جایی که کاهش شدید پوشش گیاهی و تراکم درختان، توانایی تصفیه آلاینده‌ها و جذب کربن را تقریباً به صفر رسانده است. در مقابل، باغ مسعودیه با وسعت کمتر ولی تخریب محدودتر، نشان می‌دهد که حفظ ساختار سبز حتی در اندازه‌های متوسط می‌تواند عملکرد اکولوژیکی قابل توجهی داشته باشد و در کاهش آلاینده‌ها و ارتقای سلامت روان و جسمی ساکنان مؤثر باشد.

مدل‌سازی سناریوهای گسترش پوشش سبز (۳۵٪ و ۷۰٪) نشان داد که حتی افزایش نسبی پوشش سبز در این دو باغ، می‌تواند بهبود قابل توجهی در عملکرد اکولوژیکی و خدمات زیست‌محیطی ایجاد کند. این تأثیرات نه تنها در کاهش آلاینده‌ها و افزایش جذب کربن دیده می‌شود، بلکه اثر مستقیم بر سلامت انسانی و کاهش نرخ مرگ‌ومیر ناشی از بیماری‌های تنفسی دارد، همان‌طور که در جدول زیر نشان داده شده است:

جدول ۶: میزان اثر گذاری بر نرخ مرگ و میر

سنا ریوی ۳۵٪	سنا ریوی ۷۰٪	کاهش تخمینی نرخ مرگ‌ومیر	باغ
کاهش متوسط ۱۸٪ در PM _{2.5} و ۱۲٪ در PM ₁₀	کاهش ۳۵٪ در PM _{2.5} و ۲۵٪ در PM ₁₀	به ترتیب ۵.۲٪ و ۹.۴٪ کاهش در مرگ‌ومیر تنفسی	باغ مسعودیه
کاهش ۱۵٪ در PM _{2.5} و ۹٪ در PM ₁₀	کاهش ۲۸٪ در PM _{2.5} و ۱۹٪ در PM ₁₀	به ترتیب ۴.۳٪ و ۷.۸٪ کاهش در مرگ‌ومیر تنفسی	باغ نظامیه

این داده‌ها نشان می‌دهد که حتی فضاهای سبز کوچک یا تخریب‌شده، با باززنده‌سازی مناسب، می‌توانند اثر ملموسی بر سلامت ساکنان و کاهش بیماری‌های تنفسی داشته باشند. تفاوت اثرگذاری میان دو باغ نیز توجیه‌کننده انتخاب نمونه‌ها با وسعت متفاوت است؛ باغ نظامیه نشان‌دهنده محدودیت‌های مقیاس و تخریب شدید، و باغ مسعودیه نمونه‌ای از عملکرد قابل توجه پوشش سبز در مقیاس متوسط است. تحلیل داده‌های پرسشنامه و نتایج مدل‌سازی نشان داد که پوشش سبز شهری، به‌ویژه در قالب باغ‌های تاریخی، نقش حیاتی در سلامت جسمی و روانی شهروندان و بهبود کیفیت زیست‌پذیری محیط دارد. بیش از ۸۲٪ پاسخ‌دهندگان کاهش فضای سبز شهری را عامل مستقیم اثرات منفی بر سلامت خود دانستند و ۹۱٪ احیای باغ‌های تاریخی مانند مسعودیه و نظامیه را اقدامی مؤثر برای ارتقای کیفیت زندگی و سلامت عمومی ارزیابی کردند. این یافته‌ها نشان می‌دهد که درک اجتماعی از اهمیت باغ‌های تاریخی بالا است و باززنده‌سازی آن‌ها می‌تواند با مشارکت و پذیرش عمومی همراه شود.

انتخاب دو باغ با وسعت و وضعیت متفاوت، به‌عنوان نمونه‌های مقایسه‌ای، امکان بررسی اثر سناریوهای مختلف احیای پوشش سبز در محیط شهری آلوده و تاریخی را فراهم کرد. ترکیب این دو نمونه، بینش عملی برای سیاست‌گذاری شهری و حفاظت از میراث طبیعی ارائه می‌دهد و نشان می‌دهد که حتی فضاهای سبز کوچک و تخریب‌شده نیز با مدیریت مناسب می‌توانند تأثیر قابل‌توجهی بر سلامت و زیست‌پذیری محیط داشته باشند.

بر اساس تحلیل ۳۸۴ پرسشنامه تکمیل‌شده در محدوده میدان بهارستان:

- ۸۲٪ از پاسخ‌دهندگان آلودگی هوا را عامل اصلی ناراحتی‌های تنفسی خود دانستند.
- ۷۵٪ کاهش فضای سبز طی دو دهه اخیر را مؤثر در کاهش کیفیت زیست‌پذیری منطقه ارزیابی کردند.
- ۶۸٪ افزایش درختان سایه‌دار و پوشش‌های گیاهی را مؤثرترین راه بهبود سلامت روانی و آرامش محیط دانستند.
- ۵۷٪ از زنان شرکت‌کننده، اضطراب و فشار روانی ناشی از کمبود فضاهای سبز شهری را گزارش کردند.
- میانگین نمره رضایت از محیط طبیعی ۲.۴۶ بود که ضعف واضح وضعیت زیست‌محیطی موجود را نشان می‌دهد، در حالی که مدل سناریوی احیای ۷۰٪ پوشش سبز، این عدد را به ۴.۲۱ ارتقا داد.

تحلیل‌های زیست‌محیطی و اکولوژیکی نشان داد که سناریوی ۷۰٪ باززنده‌سازی پوشش سبز تاریخی بیشترین اثر را در کاهش آلاینده‌های ذرات معلق، بهبود دمای موضعی و افزایش شاخص آسایش زیستی دارد. علاوه بر این، افزایش پوشش گیاهی با کاهش مرگ‌ومیر ناشی از آلودگی هوا و ارتقای سلامت جسمی و روانی افراد ارتباط مستقیم دارد.

این پژوهش به روشنی نشان داد که احیای تدریجی پوشش‌های گیاهی در باغ‌های تاریخی، علاوه بر ارزش میراثی و فرهنگی، از منظر اکولوژیکی و سلامت انسانی نیز حیاتی است. باززنده‌سازی اکولوژیکی باغ‌های تاریخی نه تنها «طبیعت به شهر» بازمی‌گرداند، بلکه «زندگی به میراث» را احیا می‌کند و می‌تواند الگویی نوین برای برنامه‌ریزی شهری مبتنی بر عدالت زیست‌محیطی و توسعه پایدار در شهرهای تاریخی ایران ارائه دهد.

به طور کلی، نتایج این مطالعه نشان می‌دهد که سیاست‌های هوشمندانه احیای فضای سبز تاریخی می‌توانند با کاهش آلودگی، ارتقای سلامت عمومی و تقویت پیوند شهروندان با محیط زیست شهری، گام مؤثری در مسیر توسعه پایدار شهری و حفاظت از میراث فرهنگی و طبیعی بردارند.

۱.۱ محدودیت‌های پژوهش و آینده نگری

هرچند این تحقیق نتایج مفیدی به دست آورده، اما با برخی کاستی‌ها روبرو بوده است. به عنوان مثال، گردآوری اطلاعات پرسشنامه‌ای در دوره تعطیلات نوروزی (از ۳ تا ۹ فروردین ۱۴۰۴) احتمالاً تحت تأثیر عوامل فصلی قرار گرفته و ممکن است به سوگیری‌های مرتبط با این

ایام منجر شده باشد. علاوه بر این، مشکلاتی مانند پاسخ‌های ناکامل (که منجر به حذف ۳۰ درصد از پرسشنامه‌ها شد) و کمبود دسترسی به داده‌های تاریخی گسترده‌تر برای ارزیابی تغییرات طولانی‌مدت پوشش گیاهی، از جمله نقاط ضعف این مطالعه به شمار می‌رود. برای تحقیقات آتی، توصیه می‌شود پژوهش‌های همسویی در کلان‌شهرهای دیگر ایران، نظیر اصفهان، اراک و شیراز، با تمرکز بر چندین فضای سبز تاریخی اجرا گردد تا قابلیت تعمیم یافته‌ها بهبود یابد. محققان می‌توانند از ابزارها و روش‌های به‌کاررفته در این پژوهش (مانند نرم‌افزار کنوپی، تحلیل‌های فضایی و پیمایش‌های میدانی) بهره ببرند و آن‌ها را با مدل‌های چندبعدی ادغام نمایند تا تأثیرات فضای سبز بر رفاه عمومی در نواحی شهری گوناگون را عمیق‌تر کاوش کنند. در نهایت، اجرای پیمایش‌های پرسشنامه‌ای در فصل‌های متنوع و بهره‌گیری از داده‌های طولی طولانی‌تر، به ارتقای صحت و اعتبار نتایج کمک شایانی خواهد کرد.

پیوست

جدول پ:۱: پرسشنامه میدانی (منبع: نگارندگان)

بخش	سوالات	نوع پاسخ
بخش اول: اطلاعات جمعیت شناختی	۱ جنسیت: مرد / زن	انتخابی
	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.	انتخابی
	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؟	
بخش سوم: آلودگی هوا و تأثیرات آن	۱۲ آلودگی هوا در منطقه ۱۲ نسبت به ۵ سال گذشته افزایش یافته است.	انتخابی
	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.	
	۱۵ آلودگی هوا موجب تشدید بیماری‌های تنفسی (مانند آسم) یا قلبی در من یا خانواده‌ام شده است.	
	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؟	
بخش چهارم: چهارم: سلامت و کیفیت	۱۹ کیفیت زندگی من به دلیل آلودگی هوا کاهش یافته است.	انتخابی
	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.	

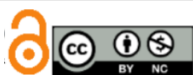
تشریحی	به طور کلی، منطقه ۱۲ برای زندگی سالم، محیط مناسبی نیست.	۲۳	
	آیا فکر می کنید حفظ باغات تاریخی می تواند به کاهش بیماری های قلبی و تنفسی کمک کند؟	۲۴	
	به نظر شما چه اقداماتی برای کاهش آلودگی هوا در منطقه ۱۲ ضروری است؟	۲۵	بخش پنجم: سوالات تشریحی (اختیاری)
	آیا پیشنهاد خاصی برای حفظ یا احیای باغات تاریخی منطقه دارید؟	۲۶	
	سایر توضیحات یا انتقادات	۲۷	

منابع

شیرازیان، رضا. (۱۳۹۶). تهران نگاری: بانک نقشه‌ها و عناوین مکانی تهران قدیم. تهران، ایران: انتشارات دستان.

- Tayebi, A. (2025). *Tehran Naseri | Map of Dār al-Khilāfah al-Nāṣerī* [Online map]. Retrieved from <https://alitayebi.github.io/maps/naseri/#35.66122,51.4603,15z>
- 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.
- 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.
- 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.
- 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>
- 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.
- 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>
- 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>
- 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.
- Heger, M., Sarraf, M., & Heger, M. P. (2018). Air pollution in Tehran: health costs, sources, and policies.
- Hirokawa, K. H. (2011). Sustainability and the urban forest: An ecosystem services perspective. *Natural resources journal*, 233-259.
- 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 health*, 12, 1-16.
- 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>
- 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/>
- 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).
- Karimi, B., & Shokrinezhad, B. (2021). Air pollution and the number of daily deaths due to respiratory causes in Tehran. *Atmospheric Environment*, 246, 118161.

- 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
- 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.
- 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>
- 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.
- 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.
- Nafetehroon [@nafetehroon]. (2025, April 21). [Photograph of a scene in Tehran]. Instagram. https://www.instagram.com/p/ChxS_uBNS-y/
- Google Earth. (2025, April 22). [Aerial map of a location in Tehran] [Satellite imagery]. Retrieved from <https://earth.google.com/web/>



Copyright:© 2026 by the authors. This is an open access article under the terms of the Creative Commons Attribution-NonCommercial 4.0 International (CC BY-NC 4.0) License.