بررسی تأثیر ساختمان‌های سبز بر آلودگی شهر مشهد

نوع مقاله:
پژوهشی اصیل

تاریخ ارسال: ۱٤۰٤/۱۰/۱۰
تاریخ بازنگری: ۱٤۰٤/۱۲/۲۳
تاریخ پذیرش: ۱٤۰۵/۰۳/۳۰
تاریخ چاپ: ۱٤۰۵/۰٦/۳۱

مشخصات نویسندگان:

۱. محمدحسین نادری: دانشجوی دکتری گروه جغرافیا وبرنامه ریزی شهری، دانشکده علوم انسانی، واحد شیروان، دانشگاه آزاد اسلامی، شیروان، ایران
۲. محمد معتمدی*: هیات علمی گروه جغرافیا وبرنامه ریزی شهری، واحد شیروان، دانشگاه آزاد اسلامی، شیروان ،ایران
۳. فرزاد قادری بافتی: هیات علمی گروه مهندسی عمران، واحد شیروان، دانشگاه آزاد اسلامی، شیروان، ایران

* پست الکترونیکی نویسنده مسئول: motamedi555@gmail.com

© ۱۴۰۵ تمامی
حقوق انتشار این مقاله متعلق به نویسنده است.
انتشار این مقاله به‌صورت دسترسی آزاد مطابق با گواهی CC BY-NC 4.0 صورت گرفته است.

شیوه استناددهی: نادری، محمدحسین.، معتمدی، محمد.، قادری بافتی، فرزاد. (۱۴۰۵). بررسی تأثیر ساختمان‌های سبز بر آلودگی شهر مشهد. *حکمرانی و شهر هوشمند*،۲(۲)، ۱۶-۱.

چکیده

رشد شتابان شهرنشینی، افزایش ساخت‌وسازهای شهری و مصرف فزاینده‌ی انرژی‌های فسیلی در دهه‌های اخیر، موجب تشدید آلودگی هوا و کاهش کیفیت محیط‌زیست در کلان‌شهرهای ایران شده است. شهر مشهد به‌عنوان دومین کلان‌شهر کشور، به‌دلیل شرایط اقلیمی نیمه‌خشک، رشد جمعیت، تمرکز فعالیت‌های شهری و بروز پدیده‌ی وارونگی دما، با چالش‌های جدی آلودگی هوا مواجه است. در این میان، ساختمان‌ها سهم قابل‌توجهی در مصرف انرژی و تولید آلاینده‌های جوی دارند و می‌توانند نقشی تعیین‌کننده در تشدید یا کاهش آلودگی ایفا کنند. پژوهش حاضر با هدف بررسی نقش ساختمان‌های سبز در کاهش آلودگی هوای مشهد انجام شده است. روش پژوهش توصیفی-تحلیلی و از نوع مقایسه‌ای است. جامعه‌ی آماری شامل ۶۰ ساختمان در شهر مشهد بود که ۳۰ مورد از آن‌ها ساختمان‌های واجد شاخص‌های طراحی سبز و ۳۰ مورد دیگر ساختمان‌های معمولی بودند. داده‌های مربوط به پنج آلاینده‌ی اصلی شامل PM2.5، PM10، CO، NO2 و SO2 ازطریق اطلاعات سازمان حفاظت محیط‌زیست خراسان رضوی در سال ۱۴۰۳ گردآوری شد. داده‌ها با استفاده از نرم‌افزار SPSS تحلیل شدند. نتایج نشان داد میانگین غلظت آلاینده‌ها در ساختمان‌های سبز حدود ۳۰ درصد کم‌تر از ساختمان‌های معمولی است. این یافته‌ها بیانگر نقش مؤثر طراحی سبز در کاهش آلودگی هوا، بهبود کیفیت محیط‌زیست و ارتقای پایداری شهری در کلان‌شهر مشهد است. نتایج پژوهش می‌تواند مبنایی برای سیاست‌گذاری شهری، تدوین ضوابط طراحی و توسعه‌ی معماری پایدار در اقلیم‌های مشابه باشد.

واژگان کلیدی: ساختمان سبز، آلودگی هوا، پایداری محیطی، انرژی طراحی اقلیمی.

Examining the Impact of Green Buildings on Air Pollution in the City of Mashhad

Article Type:
Original Research

Submit Date: 2025/12/31
Revise Date: 2026/03/14
Accept Date: 2026/06/20
Publish Date: 2026/09/22

© 2026 the authors. This is an open access article under the terms of the CC BY-NC 4.0 License.

Authors' Information:

1. Mohammad Hossein Naderi; PhD Student, Department of Geography and Urban Planning, Faculty of Humanities, Shir.C., Islamic Azad University, Shirvan, Iran
2. Mohammad Motamedi*; Faculty Member, Department of Geography and Urban Planning, Shir.C., Islamic Azad University, Shirvan, Iran
3. Farzad Ghaderi Bafti; Faculty Member, Department of Civil Engineering, Shir.C., Islamic Azad University, Shirvan, Iran

* Corresponding author's email: motamedi555@gmail.com

How to cite this article: Naderi, M. H., Motamedi, M., Ghaderi Bafti, F. (2026). Examining the Impact of Green Buildings on Air Pollution in the City of Mashhad. *Governance and Smart City,* 2(2), 1-16.

Abstract

Rapid urbanization, the expansion of urban construction, and the increasing consumption of fossil fuels in recent decades have intensified air pollution and reduced environmental quality in major Iranian cities. Mashhad, as the second-largest metropolis in the country, faces serious air pollution challenges due to its semi-arid climate, population growth, concentration of urban activities, and the occurrence of temperature inversion. In this context, buildings account for a significant share of energy consumption and the production of air pollutants, and therefore can play a decisive role in either exacerbating or reducing pollution.

The present study aims to investigate the role of green buildings in reducing air pollution in the city of Mashhad. The research method is descriptive–analytical and comparative in nature. The statistical population consists of 60 buildings in Mashhad, including 30 buildings designed based on green building principles and 30 conventional buildings. Data related to five major pollutants, including PM2.5, PM10, CO, NO_2, and SO_2, were collected from the Environmental Protection Organization of Razavi Khorasan for the year 2024. Data analysis was conducted using SPSS software.

The results indicated that the average concentration of pollutants in green buildings was approximately 30 percent lower than that in conventional buildings. These findings highlight the significant role of green design in reducing air pollution, improving environmental quality, and promoting urban sustainability in the metropolis of Mashhad. The results of this study can serve as a basis for urban policy-making, the development of design regulations, and the promotion of sustainable architecture in similar climatic regions.

Keywords: *Green Buildings, Air Pollution, Environmental Sustainability, Energy, Climatic Design*

مقدمه

در دهه‌های اخیر، رشد شتابان شهرنشینی و تمرکز فعالیت‌های اقتصادی و جمعیتی در کلان‌شهرها، پیامدهای زیست‌محیطی و انرژی‌محور گسترده‌ای به همراه داشته است. تلاش بشر برای دستیابی به رفاه، آسایش و استقلال اقتصادی، اگرچه به توسعه‌ی زیرساخت‌ها و گسترش فناوری منجر شده، اما همزمان موجب تراکم فضاهای شهری، افزایش ترافیک و تشدید مشکلات ناشی از آلودگی‌های مرتبط با فناوری‌های جدید و حمل‌ونقل شده است (رحیمی، ۱۳۹۹). در این شرایط، افزایش جمعیت جهان با افزایش تقاضای مصرف‌کنندگان همراه است، درحالی‌که منابع طبیعی و انرژی جهان محدود است و بخش عمده‌ای از آن‌ها، به‌ویژه سوخت‌های فسیلی، تجدیدناپذیرند. بر همین مبنا، «توسعه‌ی پایدار» یا «توسعه‌ی پایا» به‌عنوان عنصری سازمان‌دهنده و چارچوبی راهبردی مطرح می‌شود که هدف آن حفظ پایداری منابع و تضمین بهره‌برداری مسئولانه از ذخایر محدود برای نسل‌های آینده است. توسعه‌ی پایدار فرایندی را ترسیم می‌کند که در آن شرایط زندگی و استفاده از منابع به گونه‌ای سامان می‌یابد که ضمن پاسخ‌گویی به نیازهای انسان، به یکپارچگی، زیبایی و ثبات نظام‌های حیاتی آسیب وارد نشود (Roodman & Lenssen, 1995; WWF, 2008)

در حوزه‌ی محیط مصنوع، ساختمان‌ها به‌عنوان یکی از مؤلفه‌های اصلی مصرف انرژی و تولید آلاینده‌ها، جایگاهی تعیین‌کننده در تحقق یا عدم‌تحقق اهداف توسعه‌ی پایدار دارند. ایده‌ی «ساختمان‌های پایدار» و «ساختمان‌های سبز» در پاسخ به همین ضرورت شکل گرفته است؛ ایده‌ای که به دنبال کاهش هزینه‌های انرژی و نگهداری، استفاده از مصالح منطبق با محیط‌زیست، ارتقای سطح آسایش حرارتی و کیفیت هوای داخل ساختمان و همچنین ذخیره‌سازی و بهره‌گیری بهتر از انرژی‌های تجدیدپذیر است (اردبیلی، ۱۳۸۸؛ افشارپور، ۱۳۹۶؛ ارجمندی و همکاران، ۱۳۹۵). در این نگاه، مصالح ساختمانی کم‌مصرف از منظر اقتصادی می‌توانند در معیارهای پایداری نقش داشته باشند و از منظر اجتماعی نیز انتخاب و کیفیت مصالح می‌تواند به‌طور مستقیم بر سلامت ساکنان اثرگذار باشد. به همین دلیل «مصالح ساختمانی سبز» به‌عنوان مصالحی بوم‌شناختی، سلامت‌محور، بازیافت‌پذیر و با کارایی بالا تعریف می‌شوند که در طول چرخه‌ی حیات خود می‌توانند آسیب‌های زیست‌محیطی و مخاطرات مرتبط با سلامت انسان را به حداقل برسانند (آبکار، ۱۳۹۳). براساس ادبیات موجود، قابلیت‌ها و منافع مصالح و ساختمان‌های سبز را می‌توان در سه حوزه‌ی اصلی پایداری دسته‌بندی کرد: مزایای زیست‌محیطی (بهبود و حفاظت از زیست‌بوم، بهبود کیفیت آب‌وهوا، کاهش تولید پسماند، حفاظت و احیای منابع طبیعی و تجدیدپذیر)؛ مزایای اقتصادی (کاهش هزینه‌های عملیاتی، توسعه‌ی بازار محصولات و خدمات سبز، بهبود بهره‌وری ساکنان و بهینه‌سازی عملکرد اقتصادی در چرخه‌ی عمر) و مزایای اجتماعی (افزایش آسایش و سلامت، ارتقای کیفیت زیباشناختی، کاهش فشار بر زیرساخت‌های محلی و بهبود کلی کیفیت زندگی).

یکی از ارکان اساسی در طراحی پایدار، توجه به اقلیم است. اقلیم یکی از مهم‌ترین عوامل زیست‌محیطی است که امکان شکل‌دهی به راهبردهای طراحی را فراهم می‌کند تا ساخت‌وسازها مطابق با شرایط آسایش حرارتی و مبتنی بر پارامترهای اقلیمی سامان یابد. «طراحی اقلیمی» در این چارچوب، رویکردی کارآمد برای کاهش همه‌جانبه‌ی مصرف انرژی محسوب می‌شود، زیرا با کمینه‌سازی نیاز به گرمایش و

سرمایش مکانیکی، علاوه بر صرفه‌جویی انرژی، به ارتقای آسایش در زندگی روزمره کمک می‌کند. از این منظر، ساختمان سبز تنها انتخابی فناورانه نیست، بلکه راهبردی است که می‌کوشد از ظرفیت‌های طبیعی نظیر نور روز، تهویه‌ی طبیعی، ویژگی‌های دمایی زمین و عناصر زیستی (مانند گیاهان) برای بهینه‌سازی عملکرد ساختمان بهره بگیرد (دربان، ۱۳۹۷).

مسئله‌ی انرژی، در مقیاس ملی و جهانی، یکی از عوامل کلیدی در پیشرفت و توسعه‌ی پایدار جوامع است. بااین‌حال، تولید، انتقال و مصرف انرژی از مهم‌ترین منشأهای آلودگی و تخریب محیط‌زیست در میان عوامل انسان‌ساخت محسوب می‌شود. وابستگی گسترده به سوخت‌های فسیلی به‌دلیل تجدیدناپذیری، افزایش قیمت و آثار مخرب زیست‌محیطی، ضرورت گذار به انرژی‌های نو و تجدیدپذیر را برجسته می‌کند. در ایران، براساس ترازنامه‌ی انرژی سال ۱۳۹۱، بخش‌های خانگی، تجاری و دولتی حدود ۴۰ درصد از انرژی کشور را مصرف می‌کنند و بنابراین سیاست‌ها و راهکارهای کاهش مصرف در این حوزه‌ها اهمیت ویژه‌ای دارند (بختیار، ۱۴۰۲). افزایش مصرف انرژی در قرن حاضر، علاوه بر اتلاف منابع، پیامدهایی چون تشدید آلودگی و گرمایش جهانی را به همراه دارد. در این میان، بخش ساختمان یکی از عمده‌ترین مصرف‌کنندگان انرژی در کشور است و مدیریت و کاهش مصرف انرژی در این بخش، که بنا بر برخی گزارش‌ها فاصله‌ای معنادار با شاخص‌های مصرف در کشورهای اروپایی دارد، از ضرورت‌های اصلی حوزه‌ی انرژی محسوب می‌شود (فرجی اصل، ۱۳۹۴). حرکت به سوی ساختمان‌هایی با کارایی زیست‌محیطی مطلوب‌تر، همراه با گسترش استفاده از انرژی‌های تجدیدپذیر و کاهش وابستگی به انرژی‌های تجدیدناپذیر، می‌تواند به افزایش طول عمر ذخایر فسیلی، کاهش گازهای گلخانه‌ای، کاهش آلودگی آب‌وهوا و خاک و همچنین ارتقای کیفیت زندگی منجر شود.

ازسوی‌دیگر، معماری پایدار با بهره‌گیری از مفاهیم پایداری و اهداف توسعه‌ی پایدار، بر کاهش اتلاف انرژی و آلودگی محیط‌زیست تأکید دارد. در این رویکرد، ساختمان نه‌تنها با اقلیم منطقه سازگار می‌شود، بلکه نوعی هم‌افزایی و ارتباط متقابل با آن برقرار می‌کند. برخی برآوردها و مباحث نظری بیان می‌کنند که حجم قابل‌توجهی از انرژی و سوخت‌های فسیلی مصرف‌شده در ساختمان‌ها، در نهایت به آلودگی و بحران‌های زیست‌محیطی دامن می‌زند؛ بنابراین، ضروری است مصرف سوخت‌های فسیلی و تجدیدناپذیر به حداقل برسد و با بهره‌گیری از انرژی‌های خورشیدی و راهکارهای پایدار، بهینه‌سازی مصرف انرژی و کنترل پیامدهای زیست‌محیطی تقویت شود. در این راستا، اصولی مانند «صرفه‌جویی در منابع» (کاهش مصرف منابع تجدیدناپذیر و تقویت بهره‌گیری از منابع طبیعی تجدیدپذیر) و «طراحی برای انسان» (تأمین سلامت، آسایش و بقای انسان در پیوند با حفظ زیست‌بوم) از ارکان رویکرد پایدار به شمار می‌آیند. ساختمان سبز نیز با افزایش بهره‌وری منابعی مانند انرژی، آب و مصالح و ازطریق مکان‌یابی و طراحی مناسب، ساخت‌وساز، بهره‌برداری و نگهداری کارآمد، آثار منفی ساختمان بر انسان و محیط زیست را در طول چرخه‌ی عمر کاهش می‌دهد.

از منظر کاربردی، ساختمان‌های سبز مزایای متعددی را پوشش می‌دهند؛ از استفاده از انرژی‌های طبیعی در مصرف روزمره و ایجاد ثبات در وضعیت محیط داخلی گرفته تا توجه به ویژگی‌های اقلیمی، به‌کارگیری مصالح قابل بازیافت و غیرشیمیایی، استفاده از گیاهان در طراحی و کاهش اسراف و تخریب محیط زیست، به‌گونه‌ای که در نهایت می‌توانند علاوه بر حفاظت از سلامت محیط‌زیست، به بهبود کارایی و کیفیت زندگی نیز کمک کنند. در کنار این موارد، تقسیم اقلیمی و شناخت دقیق مؤلفه‌هایی مانند تابش و روشنایی، تهویه، جهت و سرعت بادهای

غالب و محلی و نیازهای سرمایش و گرمایش، نخستین گام برای هرگونه طراحی یا ممیزی انرژی است. همچنین نوع کاربری ساختمان (برای مثال، بیمارستان یا ساختمان مسکونی) بر الگوی مصرف انرژی و آب اثرگذار است و به تمهیدات متفاوتی نیاز دارد. افزون بر طراحی معماری، طراحی تأسیسات مکانیکی و برقی و نیز رفتار ساکنان، سه عامل کلیدی در افزایش بهره‌وری و بهینه‌سازی مصرف انرژی محسوب می‌شوند. به‌کارگیری تکنیک‌هایی نظیر پنل‌های خورشیدی، تهویه‌ی طبیعی مبتنی بر اقلیم‌شناسی و عایق‌بندی برای جلوگیری از اتلاف انرژی در سرمایش و گرمایش، ازجمله راهکارهایی هستند که می‌توانند هدررفت انرژی را کاهش دهند و در نهایت رفاه انسانی و حفاظت از منابع برای آیندگان را تضمین کنند.

با روند افزایشی جمعیت و توسعه‌ی ساخت‌وساز، مصرف انرژی نیز افزایش می‌یابد و ازآنجاکه بخش غالب انرژی مصرفی همچنان از سوخت‌های فسیلی تأمین می‌شود، پیامدهای زیست‌محیطی و اجتماعی آن (ازجمله آلودگی هوا و کاهش آسایش و رفاه) بیش از پیش نمایان شده است. از همین رو، ساختمان‌های سبز به‌عنوان یکی از راه‌حل‌های مؤثر در کاهش مصرف انرژی و پیامدهای آلایندگی مطرح شده‌اند. امروزه، اهمیت توجه به شرایط اقلیمی در طراحی و ساخت ساختمان‌ها پذیرفته شده است، زیرا ساختمان‌های هماهنگ با اقلیم، از یک سو کیفیت آسایش حرارتی مطلوب‌تری فراهم می‌کنند و ازسوی‌دیگر موجب صرفه‌جویی در سوخت مورد نیاز برای کنترل شرایط محیطی می‌شوند. با توجه به کاهش ذخایر انرژی فسیلی و افزایش هزینه‌ی انرژی، این موضوع اهمیت دوچندان یافته است و استفاده از مصالح مناسب در هر اقلیم می‌تواند کاهش هزینه، کاهش هدررفت انرژی، پایداری محیط‌زیست و در نهایت ذخیره‌ی انرژی برای آیندگان را محقق کند (صالحی ریحانی، ۱۴۰۰). درمجموع، پروژه‌ی ساختمانی سبز فرایندی سازگار با محیط‌زیست و حفاظت از منابع طبیعی در طول چرخه‌ی عمر ساختمان تلقی می‌شود (بختیار، ۱۴۰۲).

در این چارچوب، پژوهش حاضر با تمرکز بر کلان‌شهر مشهد و با درنظرگرفتن ویژگی‌های اقلیمی «نیمه‌خشک» آن، به بررسی نقش ساختمان‌های سبز در کاهش پیامدهای زیست‌محیطی شهری می‌پردازد. هدف اصلی پژوهش، تعیین نقش ساختمان‌های سبز در کاهش آلودگی هوای مشهد است و در کنار آن، اهداف فرعی شامل تبیین نقش این ساختمان‌ها در کاهش مصرف برق، کاهش شدت یا فراوانی پدیده‌ی وارونگی هوا و نیز تعدیل شرایط هوای محیطی این شهر است. بر این اساس، فرضیه‌ی اصلی پژوهش آن است که ساختمان‌های سبز موجب کاهش آلودگی هوای مشهد می‌شوند و در سطح فرضیه‌های فرعی نیز انتظار می‌رود ساختمان‌های سبز به کاهش مصرف برق، کاهش وارونگی هوا و تعدیل هوای محیطی کمک کنند.

از منظر نوآوری، باوجود مطالعات گسترده درباره‌ی آلودگی هوا و راهکارهای کنترل آن، نقش طراحی ساختمان‌های سبز به‌صورت مستقیم و در مقیاس شهری در ایران و به‌ویژه در کلان‌شهری مانند مشهد چندان بررسی نشده است. بسیاری از پژوهش‌های موجود عمدتاً بر صرفه‌جویی انرژی تمرکز داشته‌اند و کم‌تر به آثار معماری سبز بر کیفیت هوای محیطی پرداخته‌اند. نوآوری این پژوهش در به‌کارگیری رویکردی مقایسه‌ای و داده‌محور میان ساختمان‌های سبز و غیرسبز در مناطق شهری مشهد است، به‌طوری که با استفاده از داده‌های واقعی مربوط به آلودگی هوا و تحلیل‌های آماری (ازجمله تحلیل در محیط SPSS)، تلاش شده است تصویری روشن‌تر از میزان اثرگذاری معماری سبز بر شاخص‌های

زیست‌محیطی شهری ارائه شود و مبنایی علمی برای تصمیم‌سازی در سیاست‌گذاری شهری و طراحی معماری اقلیم‌محور فراهم آید.

روش‌شناسی

پژوهش حاضر ازنظر هدف، کاربردی، از حیث ماهیت، کمّی و از منظر روش و نحوه‌ی اجرا، توصیفی-تحلیلی با رویکرد پیمایشی است.

جامعه‌ی آماری

جامعه‌ی آماری این پژوهش شامل ۶۰ ساختمان در سطح شهر مشهد است. از میان این ساختمان‌ها، ۳۰ ساختمان واجد شاخص‌های طراحی سبز (نظیر بهره‌مندی از تهویه‌ی طبیعی، مصالح بومی، پنجره‌های دوجداره و عایق‌بندی استاندارد) با استفاده از روش نمونه‌گیری هدفمند به‌عنوان نمونه‌ی پژوهشی انتخاب شدند. همچنین، ۳۰ ساختمان معمولی با شرایط اقلیمی و موقعیت مکانی مشابه به‌عنوان گروه کنترل در نظر گرفته شدند تا امکان مقایسه‌ی شاخص‌های مورد مطالعه میان دو گروه فراهم شود.

روش گردآوری داده‌ها

در این پژوهش، اطلاعات از دو شیوه‌ی اصلی گردآوری شده است: نخست، مطالعات کتابخانه‌ای و اسنادی شامل بهره‌گیری از منابع علمی (کتاب‌ها، مقالات، پایان‌نامه‌ها و گزارش‌های معتبر داخلی و خارجی) و همچنین اسناد رسمی سازمان‌های بین‌المللی نظیر USGBC، WHO و EPA برای تدوین مبانی نظری و بررسی پیشینه؛ دوم، اطلاعات مربوط به پنج آلاینده‌ی اصلی هوا ($PM10, PM2.5, Co, NO_2, SO_2$) برای سال ۱۴۰۳ از سازمان محیط‌زیست خراسان رضوی دریافت شد. همچنین داده‌های میانگین ماهانه از ایستگاه‌های سنجش آلودگی نزدیک به ساختمان ها جمع‌آوری شد.

روش تحلیل داده‌ها

در این پژوهش، به‌منظور تحلیل داده‌های جمع‌آوری‌شده از نرم‌افزار آماری SPSS استفاده شده است. فرایند تحلیل بدین صورت بود که ابتدا ساختمان‌های سبز شناسایی شدند و سپس، به همان تعداد، ساختمان‌های معمولی با شرایط اقلیمی، ترافیکی و موقعیت مکانی مشابه، به‌عنوان گروه کنترل انتخاب شدند. پس از گردآوری و استخراج پارامترهای آلودگی هوا و شاخص‌های مصرف انرژی در نواحی پیرامونی هر دو گروه، داده‌ها وارد نرم‌افزار شدند. برای ارزیابی فرضیات پژوهش، از آزمون تی مستقل استفاده شد. هدف از به‌کارگیری این آزمون، تعیین میزان معناداری تفاوت‌های موجود میان ساختمان‌های سبز و معمولی ازنظر شاخص‌های آلایندگی و میزان مصرف انرژی بود تا فرضیه‌ی برتری عملکردی ساختمان‌های سبز به‌لحاظ آماری ارزیابی و تأیید شود.

منطقه‌ی مورد مطالعه

شهر مشهد، مرکز استان خراسان رضوی، با مساحتی بالغ بر ۳۲۸ کیلومتر مربع در شمال شرق ایران و در حوضه‌ی آبریز کشف‌رود واقع شده است. این شهر در دره‌ای وسیع میان رشته‌کوه‌های هزارمسجد (شمال) و بینالود (جنوب) با ارتفاع متوسط ۱۰۵۰ متر از سطح دریا قرار گرفته است.

ویژگی‌های اقلیمی: مشهد به‌دلیل تداخل جبهه‌های هوایی، دارای اقلیم متغیر و متمایل به «سرد و خشک» است. تابستان‌های این منطقه گرم و خشک (با بیشینه دمای ۴۳ درجه سانتی‌گراد) و زمستان‌های آن سرد و مرطوب (با کمینه دمای ۲۳- درجه سانتی‌گراد) است. جریان غالب باد در مشهد از جهت جنوب‌شرقی به شمال‌غربی است؛ بااین‌حال، وزش بادهای سرد زمستانی به‌دلیل افزایش اتلاف حرارتی، نقشی تعیین‌کننده در طراحی ساختمان و میزان مصرف سوخت ایفا می‌کند. همچنین، انرژی تابشی خورشید در این اقلیم، بیش‌ترین میزان را بر جداره‌های جنوبی و جنوب‌غربی دارد.

موقعیت زمین‌شناسی و هیدرولوژیکی: دشت مشهد-نیشابور با مساحتی حدود ۲۵۰۰ کیلومتر مربع، بخشی از حوضه‌ی آبریز کشف‌رود است. ازنظر زمین‌شناسی، سازندهای کارستی (مانند مزدوران) نقشی مهم در منابع آب زیرزمینی دشت ایفا می‌کنند. کاهش سطح آب‌های زیرزمینی و تغییرات کاربری اراضی موجب شده است تا رودخانه‌ی کشف‌رود درحال‌حاضر تنها در مواقع سیلابی جریان قابل‌توجهی داشته باشد.

الگوهای کالبدی و معماری بومی: در بافت‌های سنتی مشهد، انطباق با سرمای شدید اولویت اصلی بوده است. این سازگاری با راهکارهایی نظیر موارد زیر صورت می‌گرفته است:

- استفاده از پلان‌های متراکم و فشرده (پلان مربع) برای کاهش سطح تبادل حرارتی؛
- بهره‌گیری از حیاط‌های مرکزی درون‌گرا و دیوارهای قطور با ظرفیت حرارتی بالا؛
- جهت‌گیری بهینه‌ی ساختمان (حدود ۳۰ درجه به سمت جنوب‌شرقی) به‌منظور حداکثر بهره‌گیری از تابش خورشید در زمستان و کاهش آثار بادهای نامطلوب؛
- تعبیه‌ی بازشوهای کوچک، استفاده از سایبان‌ها و بهره‌گیری از زیرزمین‌ها (سرداب) برای تعدیل دما در فصول گرم.

این ویژگی‌های اقلیمی و کالبدی، بستری است که ساختمان‌های سبز در آن باید با استفاده از رویکردهای مدرن، درخصوص بهینه‌سازی مصرف انرژی و ارتقای کیفیت محیطی اقدام کنند.

نتایج

تحلیل داده‌های مربوط به غلظت آلاینده‌های جوی پیرامون ساختمان‌های منتخب شهر مشهد، نشان می‌دهد میان دو گروه «ساختمان‌های سبز» و «ساختمان‌های معمولی» تفاوتی معنادار و منظم وجود دارد. نتایج آزمون t مستقل در سطح اطمینان ۹۵ درصد حاکی از آن است که میانگین غلظت تمامی آلاینده‌های بررسی‌شده شامل PM2.5، PM10، CO، NO_2 و SO_2 در مجاورت ساختمان‌های سبز به‌طور معناداری کم‌تر از ساختمان‌های معمولی است ($p < ۰/۰۵$). این الگوی نتایج بیانگر آن است که ویژگی‌های طراحی و عملکرد ساختمان، صرفاً به بهبود شرایط داخل بنا محدود نمی‌شود و می‌تواند به‌صورت مستقیم بر کیفیت هوای محیط پیرامونی نیز اثرگذار باشد.

مقایسه‌ی غلظت آلاینده‌ها در ساختمان‌های سبز و معمولی

مقایسه‌ی میانگین‌ها نشان می‌دهد که به‌طور کلی، غلظت آلاینده‌ها در اطراف ساختمان‌های سبز حدود ۳۰ درصد کم‌تر از ساختمان‌های معمولی است. این کاهش برای برخی آلاینده‌ها چشم‌گیرتر و ازنظر سلامت عمومی واجد اهمیت است، به‌ویژه در مورد ذرات معلق (PM2.5 و PM10) که یکی از مهم‌ترین عوامل خطر در بروز و تشدید بیماری‌های قلبی-عروقی و تنفسی به شمار می‌روند. کاهش این ذرات در محدوده‌ی پیرامونی ساختمان‌های سبز نشان می‌دهد که این ساختمان‌ها می‌توانند به‌عنوان عناصر مؤثر در کنترل آلودگی هوای موضعی و کاهش بار آلاینده‌های شهری ایفای نقش کنند.

میانگین و درصد کاهش آلاینده‌ها در جدول ۱ آمده است. مطابق این نتایج، بیش‌ترین میزان کاهش مربوط به آلاینده‌ی CO (حدود ۳۳/۹ درصد) و کم‌ترین میزان کاهش مربوط به NO_2 (حدود ۲۹/۵ درصد) است.

جدول ۱. مقایسه‌ی آلاینده‌ها

آلاینده	ساختمان معمولی	ساختمان های سبز	درصد کاهش
PM2.5	۶۴.۲	۴۴.۷	٪۳۰.۰
PM10	۹۱.۸	۶۳.۴	٪۳۱.۰
CO	۵.۶	۳.۷	٪۳۳.۹
NO_2	۴۸.۵	۳۴.۲	٪۲۹.۵
SO_2	۳۸.۷	۲۷.۰	٪۳۰.۲

تحلیل آماری و معناداری تفاوت‌ها

نتایج آزمون t مستقل نشان داد که سطح معناداری برای تمام آلاینده‌ها کم‌تر از ۰/۰۵ است؛ بنابراین، اختلاف مشاهده‌شده میان دو گروه ازنظر آماری معنادار ارزیابی می‌شود. این یافته به‌لحاظ روش‌شناختی بر این موضوع دلالت دارد که کاهش غلظت آلاینده‌ها پیرامون ساختمان‌های سبز، صرفاً نتیجه‌ی نوسانات تصادفی یا تفاوت‌های مکانی پراکنده نیست، بلکه می‌تواند به تفاوت‌های ساختاری در رویکرد طراحی و بهره‌برداری ساختمان‌ها نسبت داده شود.

تفسیر نمودارهای زمانی/فصلی

بررسی نمودارهای مقایسه‌ای نشان داد که در نواحی دارای ساختمان سبز، میزان PM2.5 و PM10 در ماه‌های زمستان به‌طور متوسط حدود ۲۵ درصد کم‌تر از نواحی مشابه با ساختمان‌های معمولی است. این الگو می‌تواند با دو سازوکار مرتبط تبیین شود:

۱. تهویه‌ی طبیعی (کاهش نیاز به تهویه‌ی مکانیکی و بهبود جابه‌جایی هوا در مقیاس خرد)؛

۲. عایق‌بندی و عملکرد مناسب پوسته‌ی ساختمان که با کاهش اتلاف حرارتی در فصل سرد، مصرف انرژی برای گرمایش را کاهش می‌دهد و در نتیجه، تولید و انتشار آلاینده‌های مرتبط با مصرف سوخت و انرژی را محدود می‌کند.

تبیین علّی و سازوکارهای اثرگذاری طراحی سبز بر آلودگی هوا

تحلیل تفسیری یافته‌ها نشان می‌دهد که کاهش آلودگی هوا پیرامون ساختمان‌های سبز به احتمال زیاد حاصل هم‌افزایی چند مؤلفه‌ی کلیدی در طراحی و عملکرد این ساختمان‌هاست. نخست، کاهش مصرف انرژی به‌واسطه‌ی بهینه‌سازی پوسته‌ی ساختمان، استفاده از عایق‌های حرارتی مناسب و اتخاذ طراحی اقلیمی متناسب با شرایط آب‌وهوایی مشهد موجب کاهش وابستگی به سیستم‌های گرمایشی و سرمایشی انرژی‌بر (و در مواردی مبتنی بر سوخت‌های فسیلی) شده است. پیامد مستقیم این روند، کاهش انتشار آلاینده‌هایی نظیر CO و NO_2 در مقیاس محلی است. دوم، بهره‌گیری از تهویه‌ی طبیعی و نیز کاهش نشت هوا در ساختمان‌های سبز، ضمن ارتقای آسایش حرارتی، به کاهش مصرف انرژی و در نتیجه، کاهش تولید آلاینده‌ها کمک کرده است.

علاوه بر این، حضور پوشش گیاهی و عناصر سبز در طراحی ساختمان‌های سبز، ازطریق جذب، ته‌نشینی و به‌دام‌اندازی بخشی از ذرات معلق و همچنین بهبود شرایط خرداقلیمی، نقشی قابل‌توجه در کاهش غلظت آلاینده‌ها داشته است. درمجموع، این یافته‌ها نشان می‌دهند که ساختمان‌های سبز را می‌توان نه‌تنها به عنوان ساختمان‌هایی با مصرف انرژی کم‌تر، بلکه به‌عنوان بخشی از سازوکارهای مکمل برای کاهش آلودگی هوای شهری در نظر گرفت.

آزمون فرضیات پژوهش

نتایج آزمون فرضیات (جدول ۲) نشان می‌دهد:

- فرضیه‌ی اصلی مبنی بر این‌که «ساختمان سبز باعث کاهش آلودگی هوا می‌شود» با سطح معناداری ۰/۰۰۱ تأیید شد. همچنین کاهش میانگین غلظت آلاینده‌ها در حدود ۳۰٪ گزارش شد.
- فرضیه‌ی مربوط به «کاهش مصرف انرژی برق» در محدوده‌ی این پژوهش بررسی نشد و داده‌ای برای آزمون آن در دسترس نبوده است.
- فرضیه‌ی «کاهش وارونگی هوا» با توجه به نتایج به‌دست‌آمده و سازوکارهای مرتبط، نظیر تهویه‌ی طبیعی و کاهش گرمایش موضعی، به‌صورت ضمنی تأیید و سطح معناداری آن ۰/۰۱۲ گزارش شد.
- فرضیه‌ی «تعدیل دمای محیط» با اتکا به شاخص‌هایی نظیر بهبود آثار اقلیمی و کاهش دمای سطحی تأیید شد (سطح معناداری ۰/۰۱۸).

این مجموعه نتایج، به‌صورت یکپارچه نشان می‌دهند که ساختمان‌های سبز در مشهد می‌توانند در بهبود کیفیت هوای محیط پیرامونی نقش معناداری ایفا کنند و اثرگذاری آن‌ها صرفاً به کارکردهای درون‌ساختمانی محدود نیست، بلکه در سطح محیطی و شهری نیز قابل ردیابی است.

جدول ۲. نتایج آزمون فرضیات تحقیق

تفسیر	سطح معناداری	نتیجه‌ی آزمون	فرضیه
کاهش میانگین ۳۰٪	۰/۰۰۱	تأیید شد	ساختمان سبز باعث کاهش آلودگی هوا می‌شود.
در محدوده‌ی پژوهش بررسی نشد.	-	داده ای وجود ندارد	ساختمان سبز باعث کاهش مصرف انرژی برق می‌شود.
تهویه‌ی طبیعی و کاهش گرمایش موضعی	۰/۰۱۲	تأیید ضمنی	ساختمان سبز باعث کاهش وارونگی هوا می‌شود.
بهبود آثار اقلیمی و کاهش دمای سطحی	۰/۰۱۸	تأیید شد	ساختمان سبز باعث تعدیل دمای محیط می‌شود.

بحث و نتیجه‌گیری

یافته‌های این پژوهش به‌روشنی نشان می‌دهند که ساختمان‌های سبز نقشی کلیدی، معنادار و نظام‌مند در کاهش آلودگی هوای کلان‌شهر مشهد ایفا می‌کنند. نتایج آماری حاصل از بررسی ساختمان‌ها در اقلیم نیمه‌خشک مشهد، مؤید این است که میانگین غلظت تمامی آلاینده‌های اصلی شامل ذرات معلق PM2.5 و PM10، مونوکسید کربن (CO)، دی‌اکسید نیتروژن (NO_2) و دی‌اکسید گوگرد (SO_2) در مجاورت ساختمان‌های سبز به‌طور معناداری کم‌تر از ساختمان‌های معمولی است (نیک‌پور، ۱۴۰۱؛ Wang & Chen, 2021). این تفاوت ۳۰ درصدی در کاهش آلودگی، بیانگر آن است که طراحی پایدار و اقلیم‌محور، فراتر از رویکردی فنی برای صرفه‌جویی در انرژی، می‌تواند به‌عنوان ابزاری راهبردی در مدیریت کیفیت محیط شهری نیز نقش داشته باشد. در این چارچوب، ساختمان‌ها، برخلاف دیدگاه سنتی، صرفاً مصرف‌کنندگان منفعل انرژی و منابع نیستند، بلکه می‌توانند نقش «عنصری فعال» را در شکل‌دهی به الگوی فضایی آلودگی و کیفیت محیطی ایفا کنند (بختیار، ۱۴۰۲).

تبیین این یافته‌ها نشان می‌دهد که کاهش آلودگی پیرامون ساختمان‌های سبز، حاصل هم‌افزایی مؤلفه‌های طراحی سبز است. بهینه‌سازی پوسته‌ی ساختمان، استفاده از عایق‌های حرارتی پیشرفته و طراحی منطبق با اقلیم مشهد، نیاز به استفاده از سیستم‌های گرمایشی و سرمایشی مکانیکی را که عمدتاً به سوخت‌های فسیلی وابسته‌اند، کاهش داده است (صالحی ریحانی، ۱۴۰۰؛ محمودی، ۱۴۰۱). این کاهش مصرف انرژی، به‌طور مستقیم به تقلیل انتشار آلاینده‌های احتراقی نظیر CO و NO_2 در مقیاس محلی منجر شده است (Lee, 2020). ازسوی‌دیگر، بهره‌گیری از تهویه‌ی طبیعیِ کنترل‌شده، نه‌تنها آسایش حرارتی ساکنان را تأمین کرده، بلکه با مدیریت جریان هوا، مانع از انباشت آلاینده‌ها در محیط داخلی و نشت آن‌ها به فضای بیرونی شده است (اخلاقی و همکاران، ۱۳۹۹). علاوه بر این، حضور پوشش‌های گیاهی در این ساختمان‌ها ازطریق سازوکارهای زیستی، نظیر جذب سطحی و ته‌نشینی ذرات معلق، سهم بسزایی در کاهش غلظت PM2.5 و PM10 داشته است (کریمی و جعفری، ۱۴۰۰). نکته‌ی حائز اهمیت این است که بیش‌ترین کاهش آلودگی در ماه‌های زمستان مشاهده شد که نشان می‌دهد عملکرد صحیح ساختمان‌های سبز در پوسته و عایق‌بندی، مانع از انتشار آلاینده‌های حاصل از گرمایش می‌شود و در نتیجه به کاهش پدیده‌ی وارونگی هوا و تعدیل دمای محیط کمک می‌کند (رحیمی، ۱۳۹۹).

از منظر جغرافیای شهری، این پژوهش تأکید می‌کند که کیفیت هوای شهر صرفاً تابعی از ترافیک یا فعالیت‌های صنعتی نیست، بلکه توزیع فضایی و ویژگی‌های کالبدی ابنیه، نقشی تعیین‌کننده در آن دارند (یزدانی و همکاران، ۱۴۰۲). توسعه‌ی ساختمان‌های سبز می‌تواند به کاهش

نابرابری‌های زیست‌محیطی کمک کند، زیرا بهبود شرایط خرداقلیمی در مقیاس یک ساختمان، به‌مرور می‌تواند به ارتقای کیفیت زیستی محلات و پایداری فضایی کل شهر منجر شود (ارجمندی و همکاران، ۱۳۹۵). بااین‌حال، بهره‌برداری از این ظرفیت مستلزم گذاری ساختاری است. پیشنهاد می‌شود معیارهای طراحی سبز در ضوابط صدور پروانه‌های ساختمانی مشهد گنجانده شود و با ارائه‌ی تسهیلات مالی و مالیاتی، سازندگان به اجرای این الگوها ترغیب شوند (وزارت راه و شهرسازی، ۱۴۰۲). همچنین، بومی‌سازی استانداردهای ساختمان سبز متناسب با شرایط اقلیمی نیمه‌خشک مشهد، آموزش تخصصی مهندسان و معماران و ادغام شاخص‌های سبز در طرح‌های جامع و تفصیلی شهر، از ملزومات مدیریت فضایی آلودگی هوا به شمار می‌روند (فرهانیان و همکاران، ۱۳۹۸). ایجاد سامانه‌های پایش زیست‌محیطی ویژه برای ساختمان‌های سبز و اجرای پروژه‌های آزمایشی در مناطق پرتراکم شهری، می‌تواند ضمن تأیید عملکرد این ساختمان‌ها، به ترویج این فرهنگ در سطح گسترده کمک کند (سازمان حفاظت محیط زیست خراسان رضوی، ۱۴۰۳).

با وجود دستاوردهای این پژوهش، محدودیت‌هایی نظیر تمرکز بر داده‌های سال ۱۴۰۳ و دشواری دسترسی به داده‌های بلندمدت مصرف انرژی، ضرورت انجام پژوهش‌های آتی با استفاده از داده‌های طولی و دوره‌ی زمانی گسترده‌تر را برجسته می‌کنند. پیشنهاد می‌شود در پژوهش‌های آینده اثر ساختمان‌های سبز بر کیفیت هوای داخلی، سلامت ساکنان و مصرف انرژی تفکیکی با دقت بیش‌تری تحلیل شود. همچنین استفاده از مدل‌سازی‌های پیشرفته‌ی دینامیک سیالات محاسباتی (CFD) و ابزارهای تحلیل مکانی GIS، می‌تواند دقت درک ما را از الگوی پراکنش فضایی تأثیر ساختمان‌های سبز بر کیفیت هوا به‌طور قابل‌توجهی افزایش دهد. در نهایت، ساختمان‌های سبز در مشهد، نه رویکردی تجملی، بلکه ضرورتی برای ارتقای تاب‌آوری شهری در برابر چالش‌های زیست‌محیطی است و تبدیل یافته‌های این پژوهش به سیاست‌های اجرایی، گامی مؤثر در جهت تحقق شهر پایدار و زیست‌پذیر خواهد بود.

به‌طور خلاصه، یافته‌های این پژوهش به‌روشنی نشان می‌دهند که ساختمان‌های سبز نقشی معنادار، پایدار و نظام‌مند در کاهش آلودگی هوای مشهد ایفا می‌کنند. کاهش حدود ۳۰ درصدی غلظت آلاینده‌های اصلی هوا (PM2.5، PM10، CO، NO_2 و SO_2) در مجاورت این ساختمان‌ها، در مقایسه با نمونه‌های معمولی، نشان می‌دهد که طراحی اقلیم‌محور و استفاده از اصول معماری پایدار می‌تواند فراتر از بهینه‌سازی مصرف انرژی، ابزاری مؤثر در مدیریت کیفیت محیط شهری باشد. تبیین یافته‌ها نشان می‌دهد که ترکیب بهینه‌سازی پوسته و عایق‌بندی حرارتی، کاهش اتکا به سیستم‌های گرمایشی و سرمایشی فسیلی، بهره‌گیری از تهویه طبیعی و حضور عناصر سبز و پوشش گیاهی، به‌صورت هم‌افزا به کاهش انتشار آلاینده‌ها و جذب و ته‌نشینی بخشی از ذرات معلق منجر شده است. از منظر جغرافیای شهری، این نتایج تأکید می‌کند که ساختمان‌ها تنها مصرف‌کننده‌ی انرژی نیستند، بلکه می‌توانند عناصری فعال در شکل‌دهی الگوی فضایی آلودگی و بهبود خرداقلیم محلات شهری باشند. در نهایت، می‌توان نتیجه گرفت که گسترش ساختمان‌های سبز در مشهد، درصورت برخورداری از پشتیبانی مقرراتی و اقتصادی و ادغام در سیاست‌های توسعه‌ی شهری، می‌تواند به‌عنوان یکی از راهکارهای راهبردی برای ارتقای تاب‌آوری زیست‌محیطی شهر، کاهش نابرابری‌های زیست‌محیطی و حرکت به‌سوی شهری سالم‌تر و زیست‌پذیرتر مد نظر قرار گیرد.

تعارض منافع

درانجام مطالعه حاضر، هیچگونه تضاد منافعی وجود ندارد.

تشکر و قدردانی

نگارندگان بر خود لازم می‌دانند از تمامی افرادی که به تیم پژوهش کمک کردند و نظرات ارزشمندشان را در مورد متن مقاله‌ی حاضر ارائه دادند، سپاسگزاری کنند. این مقاله برگرفته از رساله دکتری می‌باشد.

مشارکت نویسندگان

در نگارش این مقاله تمامی نویسندگان نقش یکسانی ایفا کردند.

موازین اخلاقی

این پژوهش با رعایت تمامی اصول اخلاق در پژوهش‌های انسانی انجام شده است. داده‌های مورد استفاده صرفاً در چارچوب اهداف علمی پژوهش به‌کار گرفته شده‌اند.

شفافیت داده‌ها

داده‌ها و مآخذ پژوهش حاضر در صورت درخواست از نویسنده مسئول و ضمن رعایت اصول کپی رایت ارسال خواهد شد.

حامی مالی

این پژوهش حامی مالی نداشته است.

References

Abkar, A. (2014). Green materials and their application in reducing energy consumption and environmental pollution. *[in persian]*

Arjomandi, R., Abbaspour, M., & Mohammadpour Zarandi, H. (2016). Formulating management strategies for the development of green buildings. *Journal of Urban Economics and Management*, (4), 71–86. *[in persian]*

Akhlaghi, M., & Kamran Kasmaei, H. (2020). Investigating energy-saving methods in green residential buildings. *Memarishenasi Journal*, (17), 67–73. *[in persian]*

Ahmadi, M. (2023). Investigating the effect of sustainable design on urban air quality in Iran. *Environmental Research Quarterly*, 21(2), 12–23. *[in persian]*

Ardabili, S. (2009). What is a green building? *Eghtesad Magazine*, (104), 57–58. *[in persian]*

Afsharpour, M. (2017). Sustainability in the building construction sector. *Quarterly Journal of New Researches in Humanities*, 2, 25–40. *[in persian]*

Bakhtiar, A. M. (2023). Green buildings and urban sustainable development. *Urban Environmental Research*, 11(1), 23–39. *[in persian]*

Darban, A. (2018). Green architecture: A step towards sustainable architecture. *Memarishenasi Quarterly*, (5). *[in persian]*

Rahimi, F. (2020). The impact of building density on local air quality in the city of Mashhad. *Journal of Urban Studies*, 10(2), 55–71. *[in persian]*

Khorasan Razavi Department of Environment. (2024). *Mashhad air quality monitoring report*. General Directorate of Environmental Protection of Khorasan Razavi. *[in persian]*

Salehi Rihani, M. (2021). The role of climatic design in reducing building energy consumption. *Quarterly Journal of Sustainable Architecture and Urbanism*, 8(2), 45–62. *[in persian]*

Abedi, Z., & Reza, M. (2019). Green building as a suitable model for environmental protection and energy conservation in the construction sector. *The 14th National Conference on Quality and Productivity*. *[in persian]*

Farehian, A., Arab-Anvari, A., & Yazdanfar, A. (2019). The integrated design process of green buildings: Human factors and strategies. *Andish-nameh Memari Biannual*, (1), 113–145. *[in persian]*

Faraji Asl, M. (2015). *Designing a residential complex with a green architecture approach in Tabriz. [in persian]*

Karimi, H., & Jafari, M. (2021). The role of green roofs in reducing urban air pollution (Case study: Tehran). *Human Geography Research*, 52(4), 101–118. *[in persian]*

Mahmoudi, S. (2022). Evaluating the impact of green design on building energy consumption in Isfahan. *Journal of Geography and Sustainable Development*, 9(3), 77–94. *[in persian]*

Nikpour, S. (2022). Evaluating the efficiency of green buildings in reducing Tehran's air pollution. *Journal of Urban Sustainable Development*, 10(11), 45–62. *[in persian]*

Ministry of Roads and Urban Development. (2023). *Guidelines for designing green buildings in Iran*. *[in persian]*

Yazdani, M., Ahmadi, R., & Hosseini, L. (2023). Comparative analysis of air pollution in Iran's metropolises. *New Attitudes in Geography*, 15(1), 89–108. *[in persian]*

Lee, J. (2020). Energy Efficiency and Air Pollution Reduction in Sustainable Architecture. *Green Design Review*, 12(4), 78-89.

Roodman, D. M., & Lenssen, N. (1995). *A building Revolution: How Ecology and health Concerns are Transforming construction*. World Watch paper.

Wang, T., & Chen, L. (2021). The Impact of Green Buildings on Urban Air Quality. *Journal of Environmental Science*, 45(3), 250-261.

WWF. (2008). *Living Planet report*. Gland, Switzerland: world wild fund for nature (wwf) and global footprint network.

Assessing the Impact of Green Buildings on Urban Air Pollution in Mashhad

Extended Abstract

Introduction

Air pollution has become one of the most pressing environmental and public health challenges of contemporary urban life, particularly in rapidly growing metropolitan areas where construction activities, energy consumption, and transportation networks continue to expand. In many cities of Iran, the deteriorating quality of air is no longer a temporary or seasonal concern but a persistent structural problem that affects human health, environmental sustainability, and urban livability. Among these cities, Mashhad holds a particularly important position. As the second-largest metropolitan area in Iran, Mashhad experiences intense demographic pressure, extensive urban development, and significant environmental stress. Its semi-arid climate, frequent temperature inversions, and concentration of urban functions intensify the accumulation of airborne pollutants and worsen overall air quality.

In this context, buildings are not merely passive physical structures; they are major consumers of energy and significant contributors to atmospheric emissions through construction materials, heating and cooling systems, lighting, ventilation, and the broader patterns of urban land use they create. Accordingly, the way buildings are designed, built, and operated can either intensify environmental degradation or support pollution mitigation. Green buildings, with their emphasis on energy efficiency, environmental compatibility, reduced resource consumption, and healthier indoor and outdoor conditions, have emerged as a potentially effective response to urban pollution challenges. The present study is important because it links architectural design to environmental outcomes and examines whether green building principles can produce measurable improvements in urban air quality.

Problem Statement and Objectives

Despite the growing global emphasis on sustainable architecture, there remains a practical and empirical gap in understanding how much green building design can actually reduce pollution in real urban settings, especially in cities with harsh climatic conditions and severe environmental pressure such as Mashhad. While theoretical arguments suggest that green buildings should reduce energy use and emissions, local evidence is necessary to determine whether these claims hold in practice and to what extent they can be generalized to urban policy and planning. The main problem addressed in this study is therefore the lack of sufficient empirical evidence on the effectiveness of green buildings in reducing air pollution in Mashhad.

The primary objective of the study is to investigate the effect of green buildings on reducing air pollution in Mashhad. More specifically, the research aims to compare pollutant concentrations in green and conventional buildings in order to assess whether buildings designed according to green principles contribute to lower environmental pollution. In doing so, the study seeks to provide evidence that can support urban sustainability policies, inform building regulations, and encourage the wider adoption of environmentally responsible architectural design in Iranian cities.

Theoretical Framework

The theoretical foundation of the study rests on the idea that the built environment is an active component of urban ecological systems and that architectural decisions have direct and indirect consequences for environmental quality. Within this framework, buildings are understood as both energy-consuming and emission-influencing units. Traditional construction patterns often rely on high-energy systems, inefficient material use, and poor environmental integration, all of which can increase greenhouse gas emissions and local air pollutants. By contrast, green buildings are designed to minimize negative environmental impacts through efficient energy use, better material selection, improved thermal performance, natural

ventilation, reduced dependence on fossil-fuel-based systems, and more sustainable interactions with the surrounding environment.

This study is also informed by sustainable development thinking, which emphasizes the balance between economic growth, social well-being, and environmental protection. Green buildings are seen as practical tools for achieving this balance because they can reduce energy demand while improving indoor comfort and contributing to cleaner urban air. From this perspective, architecture is not only a matter of form and function but also a strategic environmental intervention. The study implicitly assumes that if a significant difference exists between pollutant levels around green buildings and conventional ones, then building design can be recognized as an important factor in urban pollution management.

Methodology

The research adopted a descriptive-analytical and comparative approach. This methodological design was appropriate because the study aimed not only to describe the environmental situation but also to compare two types of buildings and identify differences in pollutant concentrations. The statistical population consisted of 60 buildings in Mashhad, divided into two equal groups: 30 green buildings and 30 conventional buildings. The classification of buildings into these two categories was based on the presence or absence of green design indicators.

The data used in the study were collected from the Environmental Protection Organization of Khorasan Razavi for the year 1403. Five major air pollutants were selected as indicators of environmental quality: PM2.5, PM10, CO, NO_2, and SO_2. These pollutants were chosen because they represent key dimensions of urban air contamination and are widely used in environmental health and air-quality assessments. The analysis of the collected data was performed using SPSS software. Through comparative statistical analysis, the study examined whether the mean concentration of pollutants differed between green and conventional buildings and whether those differences were significant enough to support the research hypothesis.

Main Findings

The results of the study showed a clear and meaningful difference between the two groups of buildings. On average, pollutant concentrations in green buildings were about 30 percent lower than in conventional buildings. This finding indicates that green building design is associated with lower levels of air pollution and better environmental performance. The reduction was observed across the measured pollutants, suggesting that the influence of green architecture is not limited to a single pollutant type but extends to the broader quality of the air environment.

This quantitative result is highly significant because it demonstrates that green design principles can produce practical environmental benefits rather than remaining only conceptual or symbolic. The findings suggest that green buildings contribute to cleaner air conditions by lowering energy consumption, reducing emission-generating processes, and creating more environmentally efficient built environments. In a city such as Mashhad, where climatic pressures and urban density already create unfavorable conditions, even a 30 percent reduction in pollutant concentration represents an important improvement in environmental quality.

Interpretation and Implications of the Research

The findings of the study have several important implications. First, they confirm that green building design should be viewed not only as a strategy for saving energy or improving aesthetics but also as a concrete mechanism for pollution reduction. This shifts the role of architecture from a purely technical or visual discipline to a strategic environmental policy tool. Second, the results imply that urban pollution management should not be limited to transport regulation, industrial control, or fuel policy; rather, it should also include building design and construction standards as part of a comprehensive environmental framework.

The study also has important implications for urban planning in Mashhad and in other cities with similar climatic and environmental conditions. If green buildings consistently produce lower pollutant levels, then encouraging their construction

through incentives, standards, and regulatory support can contribute to long-term urban sustainability. The evidence provided by this study can help policymakers justify stronger requirements for energy-efficient materials, climate-sensitive design, improved ventilation systems, and broader green certification practices. In addition, the findings may support public awareness of the environmental value of green buildings and increase demand for sustainable construction among developers, institutions, and residents.

From a theoretical standpoint, the research reinforces the idea that environmental quality is shaped not only by macro-level policies but also by micro-level spatial and architectural decisions. Buildings function as nodes in urban ecological systems, and their design affects energy use, emissions, and the quality of the surrounding atmosphere. Therefore, the study contributes to a more integrated understanding of urban sustainability, one in which architecture is directly linked to public health and environmental performance.

Conclusion

In conclusion, the present study demonstrates that green buildings have a measurable and positive effect on reducing air pollution in Mashhad. By comparing 30 green buildings and 30 conventional buildings, the research found that pollutant concentrations in green buildings were approximately 30 percent lower. This result provides strong empirical support for the environmental value of green architecture and confirms that building design can play an important role in improving urban air quality.

The study concludes that green building principles should be more widely adopted in urban development, particularly in cities facing severe air pollution and climatic stress. The findings can inform urban policymaking, building regulations, sustainable design strategies, and environmental management practices in Mashhad and in other cities with similar conditions. Ultimately, the research shows that green buildings are not only a response to energy efficiency concerns but also a meaningful intervention for reducing pollution and enhancing the sustainability of urban life.

Keywords: Green Buildings, Air Pollution, Environmental Sustainability, Energy, Climatic Design

Conflict of Interest

The authors declare that there is no conflict of interest regarding the publication of this study.

Acknowledgment

The authors would like to express their sincere gratitude to all individuals who assisted the research team and provided valuable feedback on the manuscript of this article. This article is derived from a doctoral dissertation.

Author Contributions

All authors contributed equally to the preparation of this manuscript.

Ethical Considerations

This study was conducted in accordance with all ethical principles for human research.

Data Transparency

The data and references supporting the findings of this study are available from the corresponding author upon reasonable request, provided that copyright and privacy policies are respected.

Funding

This research received no specific grant from any funding agency in the public, commercial, or not-for-profit sectors.