Online ISSN: 3041-9255

Journal of Human Ecology

journal homepage: http://www.landscapeecologyjournals.ir/

Research Paper

The Role of Smart Technologies in Enhancing the Ecological Passive Defense of Tehran

Mohammad Ali Khaliji[1]

[1] Department of Urban Planning, Ahv.C., Islamic Azad University, Ahvaz, Iran.

Keywords

Ecological passive defense, smart technologies, smart city, urban resilience, quality of life, Tehran.

A B S T R A C T

This research, titled The Role of Smart Technologies in Enhancing the Ecological Passive Defense of Tehran Metropolis, investigates how smart technologies can be utilized to reduce ecological vulnerability and enhance Tehran's resilience against natural and human-induced threats. As the capital of Iran, Tehran faces challenges such as rapid urbanization, air pollution, water scarcity, and natural hazards like earthquakes and floods, which have rendered its ecosystem fragile. Ecological passive defense, a preventive approach to protecting infrastructure and natural resources without relying on military tools, is of critical importance in this context. Smart technologies—including the Internet of Things, artificial intelligence, and big data—can strengthen this defense through real-time monitoring, threat prediction, and optimized resource management.

The study employs a descriptive-analytical and survey-based methodology, collecting data via a researcher-designed questionnaire from a sample of 100 individuals (professors and experts in ecology and passive defense in Tehran). The sample size was determined based on standard practices for path analysis to ensure sufficient data for meaningful results. Findings indicate that the variable Quality of Life and Ecological Health has the most significant direct impact on ecological passive defense, with a beta coefficient of 0.434, while Sustainability and Balance of the Urban Ecosystem plays a key role with a beta of 0.345. Additionally, smart technologies contribute to reducing vulnerability by enhancing ecological infrastructure and urban resilience through improvements in quality of life. The results suggest that the lack of integration between these technologies and passive defense programs remains a primary challenge in Tehran's ecological management.

*Corresponding Author.
Email Adresses: ma.khaliji@gmail.com.

Khaliji, M. A. (2025). The Role of Smart Technologies in Enhancing the Ecological Passive Defense of Tehran. Human Ecology, 4(10), 763-779.

Doi: https://doi.org/10.22034/el.2025.513750.1075

سال چهارم، شماره دهم، بهار ۱۴۰۴، ۶۶۳-۶۷۹.

شاپای الکترونیکی: ۹۲۵۵-۳۰۴۱

فصلنامه اکولوژی انسانی

http:// www.landscapeecologyjournals.ir

مقاله پژوهشی

نقش فناوری‌های هوشمند در تقویت پدافند غیرعامل اکولوژیک کلانشهر تهران

محمدعلی خلیجی* [۱]

[۱] استادیار گروه شهرسازی، واحد اهواز، دانشگاه آزاد اسلامی، اهواز، ایران.

چکیده

این پژوهش با عنوان «نقش فناوری‌های هوشمند در تقویت پدافند غیرعامل اکولوژیک کلانشهر تهران» به بررسی چگونگی استفاده از فناوری‌های هوشمند برای کاهش آسیب‌پذیری اکولوژیک و افزایش تاب‌آوری تهران در برابر تهدیدات طبیعی و انسانی پرداخته است. تهران به‌عنوان پایتخت ایران، با چالش‌هایی نظیر رشد سریع شهرنشینی، آلودگی هوا، کمبود منابع آب، و مخاطرات طبیعی مانند زلزله و سیل مواجه است که اکوسیستم آن را شکننده کرده‌اند. پدافند غیرعامل اکولوژیک، رویکردی پیشگیرانه برای حفاظت از زیرساخت‌ها و منابع طبیعی بدون استفاده از ابزارهای نظامی، در این راستا اهمیت دارد. فناوری‌های هوشمند، شامل اینترنت اشیا، هوش مصنوعی، و کلان‌داده‌ها، با پایش لحظه‌ای، پیش‌بینی تهدیدات، و مدیریت بهینه منابع، می‌توانند این پدافند را تقویت کنند. این مطالعه با روش توصیفی - تحلیلی و پیمایشی، داده‌ها را از طریق پرسشنامه‌ای محقق ساخته از ۱۰۰ نفر (اساتید و کارشناسان حوزه اکولوژی و پدافند غیرعامل در تهران) باتوجه‌به استانداردهای متداول روش تحلیل مسیر تعیین شد تا حجم نمونه کافی برای دستیابی به نتایج معنادار فراهم شود. یافته‌ها نشان داد که متغیر «کیفیت زندگی و سلامت اکولوژیک» با ضریب بتای ۰.۴۳۴ بیشترین تأثیر مستقیم را بر پدافند غیرعامل اکولوژیک دارد، درحالی‌که «پایداری و تعادل اکوسیستم شهری» با بتای ۰.۳۴۵ نقش کلیدی ایفا می‌کند. همچنین، فناوری‌های هوشمند با تأثیر بر زیرساخت‌های اکولوژیک و تاب‌آوری شهری، از طریق بهبود کیفیت زندگی، به کاهش آسیب‌پذیری کمک می‌کنند. نتایج حاکی از آن است که فقدان یکپارچگی میان فناوری‌ها و برنامه‌های پدافندی، چالش اصلی مدیریت اکولوژیک تهران است.

واژگان کلیدی

پدافند غیرعامل اکولوژیک، فناوری‌های هوشمند، شهر هوشمند، تاب‌آوری شهری، کیفیت زندگی، تهران

۱. مقدمه

کلانشـــهر تهران به‌عنوان پایتخت ایران و یکی از پرجمعیت‌ترین شـــهرهای خاورمیانه، با چالش‌های متعددی در حوزه‌های اکولوژیکی، زیست‌محیطی و امنیتی مواجه است. رشد سریع شهرنشینی، افزایش تراکم جمعیت، تغییرات اقلیمی، آلودگی هوا، کاهش منابع طبیعی و مخاطرات طبیعی نظیر زلزله و سیل، اکوسیستم این شهر را به‌شدت شکننده کرده است. در این میان، پدافند غیرعامل به‌عنوان رویکردی راهبردی برای کاهش آسیب‌پذیری و افزایش تاب‌آوری در برابر تهدیدات طبیعی و انسانی، نقشی کلیدی در حفظ پایداری سرزمین ایفا می‌کند (شاهی دشت و همکاران، ۱۴۰۰: ۲۰۱). از سوی دیگر، ظهور فناوری‌های هوشمند و توسعه مفهوم شهر هوشمند، فرصت‌های جدیدی را برای مدیریت بهینه منابع، کاهش مخاطرات و ارتقای کیفیت زندگی در کلانشهرها فراهم کرده است (ساسان پور و همکاران، ۱۳۹۳: ۱۳۱). یکی از مسائل اصلی کلانشهرها، تخریب اکوسیستم‌های طبیعی آن است. گسترش بی‌رویه مناطق شهری، کاهش پوشش گیاهی، تخریب جنگل‌ها و مراتع اطراف شهر و نابودی رودخانه‌ها و آبراهه‌ها، تعادل اکولوژیکی را به خطر انداخته است. این وضعیت نه‌تنها به افزایش آلودگی هوا و گرمایش محلی منجر شده، بلکه مخاطرات طبیعی مانند سیل و رانش زمین را تشدید کرده است. در چنین شرایطی، پدافند غیرعامل که بر پیشگیری از خسارات و کاهش آسیب‌پذیری بدون استفاده از ابزارهای نظامی تأکید دارد، می‌تواند با بهره‌گیری از فناوری‌های هوشمند، راه‌حل‌هایی کارآمد ارائه دهد.

از ســـوی دیگر، تهران به دلیل موقعیت جغرافیایی و ســـاختار زمین‌شـــناختی خود، در معرض تهدیدات طبیعی جدی مانند زلزله قرار دارد. گسل‌های فعال اطراف شهر، همراه با تراکم بالای ساخت‌وسازها و زیرساخت‌های فرسوده، این کلانشهر را به یکی از آسیب‌پذیرترین مناطق کشور تبدیل کرده است (افسری و حسنعلی‌زاده، ۱۴۰۳: ۱۱۱). پدافند غیرعامل در این زمینه باهدف کاهش خسارات جانی و مالی از طریق برنامه‌ریزی پیشگیرانه و تقویت زیرساخت‌ها عمل می‌کند. فناوری‌های هوشمند مانند سیستم‌های هشدار زودهنگام، مدل‌سازی سه‌بعدی مخاطرات و شبکه‌های ارتباطی پیشرفته، می‌توانند در هماهنگی با اصول پدافند غیرعامل، اثربخشی این اقدامات را افزایش دهند. بااین‌حال، فقدان یکپارچگی میان این فناوری‌ها و برنامه‌های پدافندی، یکی از خلأهای موجود در مدیریت اکولوژیک تهران اســـت که این پژوهش به آن توجه دارد.

علاوه بر تهدیدات طبیعی، تهدیدات انسانی نیز اکولوژی تهران را تحت‌تأثیر قرار داده است. مدیریت ناکارآمد پسماند، مصرف بی‌رویه منابع آب و توسعه صنعتی بدون توجه به ملاحظات زیست‌محیطی، از جمله عواملی هستند که پایداری اکولوژیک این کلانشهر را تهدید می‌کنند (Anabestani et al, 2023: 103). در این راستا، فناوری‌های هوشمند نظیر اینترنت اشیا (IoT)، هوش مصنوعی (AI) و کلان‌داده‌ها (Big Data) می‌توانند با تحلیل داده‌های زیست‌محیطی، بهینه‌سازی مصرف منابع و ارائه راهکارهای پیشگیرانه، نقش مهمی در کاهش این تهدیدات ایفا کنند (محمدی ده چشـــمه و همکاران، ۱۴۰۳: ۳). یکی دیگر از جنبه‌های مهم این مســـئله، ناکافی بودن زیرســـاخت‌های موجود برای پیاده‌سازی شهر هوشمند است. اگرچه پروژه‌هایی در راستای هوشمندسازی شهر آغاز شده‌اند، اما این تلاش‌ها اغلب به حوزه‌هایی مانند حمل‌ونقل و ترافیک محدود شده و کمتر به مسائل اکولوژیک و پدافند غیرعامل توجه شده است. این در حالی است که ادغام این سه مفهوم (شهر هوشمند، اکولوژی و پدافند غیرعامل) می‌تواند به‌عنوان یک الگوی جامع برای مدیریت کلانشهرها مطرح شود (جیروردی و همکاران، ۱۴۰۱: ۹۴۹).

از منظر اجتماعی، مشارکت شهروندان در مدیریت اکولوژیک و پدافند غیرعامل نیز از اهمیت بسزایی برخوردار است. فناوری‌های هوشمند می‌توانند با ایجاد پلتفرم‌های تعاملی، آگاهی عمومی را افزایش داده و شـــهروندان را به‌عنوان بخشـــی از راه‌حل درگیر کنند (Barberini, 2022: 39). برای نمونه، اپلیکیشن‌های هوشمند گزارش‌دهی مشکلات زیست‌محیطی (مانند نشت آب یا انباشت زباله) می‌توانند به شناسایی سریع‌تر مسائل و واکنش مؤثرتر نهادهای مسئول کمک کنند. بااین‌حال، سطح پایین آگاهی عمومی و عدم اعتماد به نهادهای دولتی، مانعی برای تحقق این ظرفیت‌ها محسوب می‌شود (Shan et al, 2021: 191).

تهران به دلیل موقعیت جغرافیایی (نزدیکی به گسل‌ها)، تراکم جمعیتی بالا و مشکلات زیست‌محیطی مانند آلودگی هوا و کمبود آب، نیازمند رویکردهای نوین در مدیریت بحران و حفاظت اکولوژیک اســـت. فناوری‌های هوشـــمند می‌توانند با پایش لحظه‌ای، پیش‌بینی مخاطرات و مدیریت بهینه منابع، پدافند غیرعامل را تقویت کنند. به‌عنوان‌مثال، سیستم‌های هشدار سیل مبتنی بر IoT یا مدیریت هوشمند شبکه آب می‌توانند از خسارات گسترده جلوگیری کنند.

تهران به‌عنوان یک کلانشـــهر با ویژگی‌های منحصـــربه‌فرد، نیازمند رویکردی جامع و نوآورانه برای مدیریت بحران‌های اکولوژیک اســـت. فناوری‌های هوشـــمند، اگر به‌درســـتی با اصـــول پدافند غیرعامل تلفیق شـــوند، می‌توانند به‌عنوان ابزاری قدرتمند در این مســـیر عمل کنند. بااین‌حال، تحقق این هدف نیازمند شـناخت دقیق مسـائل، رفع موانع اجرایی و ایجاد هماهنگی میان نهادهای مختلف است که این پژوهش

به دنبال دستیابی به آنهاست. به‌طورکلی، سؤال اصلی این تحقیق آن است که چگونه می‌توان از ظرفیت‌های فناوری‌های هوشمند برای کاهش آسیب‌پذیری اکولوژیک و افزایش تاب‌آوری کلانشهر تهران در برابر تهدیدات طبیعی و انسانی استفاده کرد؟

۲. مبانی نظری و پیشینه پژوهش

فناوری‌های هوشمند می‌توانند نقش مهمی در تقویت پدافند غیرعامل اکولوژیک کلانشهرها ایفا کنند. پدافند غیرعامل اکولوژیک به مجموعه اقدامات غیرمسلحانه‌ای اشاره دارد که باهدف کاهش آسیب‌پذیری اکوسیستم‌های شهری در برابر تهدیدات طبیعی و انسانی، مانند آلودگی هوا، تغییرات اقلیمی، سیل، زلزله و بحران‌های زیست‌محیطی طراحی می‌شوند. پدافند غیرعامل اکولوژیک به‌عنوان یکی از راهبردهای نوین در مدیریت بحران‌های زیست‌محیطی و شهری، بر حفاظت از زیرساخت‌ها و منابع طبیعی در برابر تهدیدات طبیعی و انسانی بدون استفاده از اقدامات نظامی تمرکز دارد. در این راستا، فناوری‌های هوشمند با قابلیت‌های پیشرفته خود می‌توانند نقش تعیین‌کننده‌ای در تقویت این نوع پدافند در کلانشهرها ایفا کنند. یکی از ارکان اصلی این رویکرد، هوش مصنوعی (AI) است که با تحلیل داده‌های کلان و الگوریتم‌های پیشرفته، امکان پیش‌بینی و مدیریت هوشمند تهدیدات زیست‌محیطی مانند آلودگی هوا، سیل و زلزله را فراهم می‌کند. در کنار آن، سیستم‌های پیش‌بینی آب‌وهوا با استفاده از مدل‌سازی پیشرفته و داده‌های لحظه‌ای، به شناسایی الگوهای جوی و هشدار زودهنگام در برابر مخاطرات اقلیمی کمک می‌کنند. این سیستم‌ها در ترکیب با حسگرهای محیطی که در سطح شهر برای پایش کیفیت هوا، آب‌وخاک مستقر می‌شوند، داده‌های مورد نیاز برای تصمیم‌گیری سریع و مؤثر را تأمین می‌کنند. شبکه اینترنت اشیا (IoT) نیز به‌عنوان زیرساخت ارتباطی، امکان اتصال حسگرها، تجهیزات و سیستم‌های شهری را فراهم کرده و یک شبکه یکپارچه برای مدیریت هوشمند منابع و زیرساخت‌ها ایجاد می‌کند. در حوزه مدیریت منابع و نظارت، پهپادهای نظارتی باقابلیت پایش گسترده مناطق شهری و حاشیه‌ای، اطلاعاتی دقیق از وضعیت اکولوژیک و تهدیدات احتمالی ارائه می‌دهند. این ابزارها در کنار سیستم‌های GIS (سامانه اطلاعات جغرافیایی) که برای تحلیل مکانی داده‌ها و تهیه نقشه‌های خطر استفاده می‌شوند، امکان برنامه‌ریزی دقیق و مکان‌مند را برای مقابله با مخاطرات فراهم می‌کنند. از سوی دیگر، رباتیک محیطی با بهره‌گیری از ربات‌های خودکار در جمع‌آوری پسماند، پایش زیست‌بوم‌ها و بازسازی مناطق تخریب‌شده، به حفظ تعادل اکولوژیک کلانشهر کمک می‌کند. این فناوری در کنار بلاک‌چین که امنیت و شفافیت در مدیریت داده‌ها و منابع را تضمین می‌کند، می‌تواند به‌عنوان بستری برای ثبت و رصد فعالیت‌های مرتبط با پدافند غیرعامل مورد استفاده قرار گیرد. به‌عنوان‌مثال، بلاک‌چین می‌تولند در زنجیره تأمین انرژی‌های تجدیدپذیر یا ردیابی اقدامات حفاظتی، کارایی و اعتماد را افزایش دهد (Khan et al., 2020: 1510).

یکی دیگر از مؤلفه‌های اصلی پدافند غیرعامل اکولوژیک، پوشش گیاهی شهری است. پوشش گیاهی نه‌تنها به‌عنوان سپری طبیعی در برابر آلودگی هوا و تغییرات اقلیمی عمل می‌کند، بلکه با استفاده از فناوری‌های هوشمند نظیر حسگرهای رطوبت و سیستم‌های آبیاری هوشمند، می‌توان مدیریت بهینه‌تری بر آن اعمال کرد. این امر به حفظ تنوع زیستی نیز کمک می‌کند (جمالی و مدنی، ۱۳۹۴: ۱۷۵)، زیرا پوشش گیاهی متنوع، زیستگاه‌های متعددی برای گونه‌های جانوری و گیاهی فراهم می‌آورد. شبکه‌های آبی پایدار از دیگر عناصر کلیدی در این چارچوب نظری هستند. این شبکه‌ها با بهره‌گیری از فناوری‌های هوشمند مانند سیستم‌های پایش لحظه‌ای و مدیریت منابع آب، می‌توانند به توزیع متعادل آب و کاهش فشار بر اکوسیستم‌های شکننده کمک کنند. این موضوع به‌ویژه در ترمیم اکوسیستم‌های تخریب‌شده اهمیت دارد، جایی که بازسازی منابع آبی پایدار، گام نخست در احیای تعادل طبیعی محسوب می‌شود. کیفیت خاک نیز به‌عنوان پایه‌ای برای پایداری اکولوژیک مورد توجه است. فناوری‌های هوشمند نظیر حسگرهای خاک و تحلیل داده‌های شیمیایی می‌توانند در پایش و بهبود کیفیت خاک و همچنین کنترل فرسایش خاک مؤثر باشند (نباتی و مهماندوست، ۱۳۹۳: ۱۱۰). این اقدامات به حفظ ساختار خاک و جلوگیری از تخریب بیشتر اکوسیستم کمک می‌کند. فضاهای سبز متصل یکی دیگر از مفاهیم محوری در این تحقیق است. اتصال فضاهای سبز از طریق برنامه‌ریزی هوشمند و استفاده از تصاویر ماهواره‌ای و الگوریتم‌های طراحی شهری، نه‌تنها به افزایش جذب کربن منجر می‌شود، بلکه زمینه‌ساز ایجاد تعادل اکولوژیک در مقیاس وسیع‌تر می‌گردد. این فضاها همچنین در تنظیم تعادل حرارتی شهرها نقش دارند و از پدیده جزایر گرمایی شهری جلوگیری می‌کنند. در کنار این موارد، مدیریت پسماند سبز با استفاده از فناوری‌های هوشمند مانند سیستم‌های بازیافت خودکار و پایش هوشمند زباله‌ها، به کاهش آلودگی محیطی و تقویت چرخه‌های طبیعی کمک می‌کند. این فرایند، با کاهش فشار بر اکوسیستم‌ها، به حفظ تنوع زیستی و بهبود کیفیت محیط‌زیست منجر می‌شود. فناوری‌های هوشمند با ارائه راهکارهایی برای پایش، تحلیل و مدیریت مؤلفه‌های ذکرشده، می‌توانند پدافند غیرعامل اکولوژیک را به سطحی جدید ارتقا دهند. این رویکرد، با تأکید بر یکپارچگی عناصر طبیعی نظیر پوشش گیاهی، آب، خاک و فضاهای سبز، به دنبال ایجاد اکوسیستم‌هایی تاب‌آور و متعادل است که قادر به مقابله با تهدیدات محیطی و انسانی باشند (پوریان، پوررمضان، ۱۳۹۵: ۲۱۷).

پدافند غیرعامل اکولوژیک به‌عنوان رویکردی نوین در حفاظت از زیرســـاخت‌ها و منابع طبیعی در برابر تهدیدات، نیازمند بهره‌گیری از فناوری‌های هوشمند است تا بتواند به طور مؤثر به کاهش آسیب‌پذیری‌ها و افزایش تاب‌آوری سیستم‌ها کمک کند. فناوری‌های هوشمند، شامل سیستم‌های مبتنی بر هوش مصنوعی، اینترنت اشیا، حسگرهای پیشرفته و تحلیل داده‌های بزرگ، قابلیت‌های بی‌نظیری در مدیریت تهدیدات و بهینه‌ســـازی پاســـخ به بحران‌ها ارائه می‌دهند. پایش تهدیدات طبیعی از دیگر مؤلفه‌های کلیدی اســـت که با بهره‌گیری از حسگرهای هوشمند و سیستم‌های پایش لحظه‌ای تقویت می‌شود. این ابزارها قادرند تغییرات محیطی مانند دما، رطوبت، یا حرکات زمین را رصـد کرده و داده‌ها را به‌سـرعت تحلیل کنند تا پیش‌بینی تهدیدات بادقت بیشـتری انجام شـود. این امر به تصـمیم‌گیران اجازه می‌دهد تا اقدامات پیشگیرانه را به‌موقع اجرا کنند. مدیریت بحران نیز به‌عنوان هسته مرکزی پدافند غیرعامل، از فناوری‌های هوشمند بهره‌مند می‌شود. سـیسـتم‌های تحلیل داده و هوش مصـنوعی می‌توانند سـناریوهای مختلف بحران را شـبیه‌سـازی کرده و بهترین راهکارها را برای کاهش خسارات پیشنهاد دهند. این فناوری‌ها همچنین در مدیریت منابع در بحران نقش حیاتی دارند؛ از طریق بهینه‌سازی تخصیص منابع آب، غذا و انرژی در شـرایط اضـطراری، تاب‌آوری جوامع افزایش می‌یابد. یکی دیگر از جنبه‌های مهم، کاهش آسـیب‌پذیری زیرسـاخت‌ها اسـت که با اسـتفاده از فناوری‌های هوشـمند در طراحی و مقاوم‌سـازی اکولوژیک امکان‌پذیر می‌شـود. در نهایت، مقاوم‌سـازی اکولوژیک به‌عنوان هدف بلندمدت پدافند غیرعامل، با اسـتفاده از فناوری‌های هوشـمند به سـطح جدیدی از کارایی می‌رسـد (کریم‌زاده و همکاران، ۱۳۹۵: ۴۳). این فناوری‌ها با تحلیل داده‌های زیسـت‌محیطی و پیش‌بینی تغییرات اقلیمی، به طراحی سیسـتم‌هایی کمک می‌کنند که نه‌تنها در برابر تهدیدات مقاوم باشـند، بلکه با اکوسـیسـتم‌های طبیعی هم‌افزایی داشـته باشـند. این رویکرد، تلفیقی از حفاظت محیط‌زیسـت و امنیت زیرسـاخت‌ها را تضمین می‌کند.

پدافند غیرعامل اکولوژیک به‌عنوان رویکردی نوین در مدیریت بحران‌ها و حفاظت از محیط‌زیسـت، بر اسـتفاده از راهکارهای پیشـگیرانه و پایدار برای کاهش آسیب‌پذیری جوامع در برابر تهدیدات طبیعی و انسانی تأکید دارد. در این راستا، فناوری‌های هوشمند به دلیل قابلیت‌های پیشـــرفته در جمع‌آوری داده‌ها، تحلیل آن‌ها و ارائه راه‌حل‌های بهینه، نقش کلیدی در تقویت این نوع پدافند ایفا می‌کنند. این فناوری‌ها با ایجاد ارتباط میان سیستم‌های شهری و نیازهای زیست‌محیطی، می‌توانند به بهبود کیفیت زندگی شهروندان و افزایش تاب‌آوری اکولوژیک کمک کنند. یکی از جنبه‌های مهم فناوری‌های هوشمند، توانایی آن‌ها در کاهش آلودگی هوا است. حسگرهای هوشمند و سیستم‌های پایش لحظه‌ای می‌توانند میزان آلاینده‌ها را اندازه‌گیری کرده و با ارائه داده‌های دقیق، سـیاسـت‌گذاری‌های مؤثری برای کاهش انتشـار گازهای گلخانه‌ای و بهبود کیفیت هوا فراهم کنند (اصغرزاده و امجدی، ۱۳۹۳: ۴۶). به طور مشابه، این فناوری‌ها در کنترل صدا نیز مؤثرند؛ از منظر سـلامت روان شـهروندان، فناوری‌های هوشـمند با ایجاد محیط‌های شـهری پایدار و کاهش عوامل اسـترس‌زا مانند آلودگی و ازدحام، تأثیر مثبتی بر کیفیت زندگی دارند (مدیری و همکاران، ۱۳۹۴: ۶). در حوزه تحرک پایدار، فناوری‌های هوشـــمند مانند وســـایل نقلیه الکتریکی و سیستم‌های اشتراک‌گذاری حمل‌ونقل، به کاهش وابستگی به سوخت‌های فسیلی و بهبود کیفیت هوا کمک می‌کنند (جعفری زاده و حمزه، ۱۳۹۸: ۱۹۱). در نهایت، کیفیت بصـری منظر شـهری به‌عنوان عاملی در ارتقای حس تعلق و زیبایی‌شـناسـی محیط، از طریق نورپردازی هوشـمند، طراحی منظر مبتنی بر داده و مدیریت فضـای سـبز بهبود می‌یابد. این عناصـر نه تنها به جذابیت بصـری شـهر می‌افزایند، بلکه با ایجاد فضـاهای دلپذیر، تاب‌آوری روانی و اجتماعی شـهروندان را در برابر تهدیدات افزایش می‌دهند (عزیزی، ابراهیم داودی دهاقانی، ۱۴۰۱: ۲۵۹). به‌طورکلی، ادغام فناوری‌های هوشـمند در پدافند غیرعامل اکولوژیک، از طریق تأثیرگذاری بر کاهش آلودگی‌ها، بهینه‌سـازی منابع و ارتقای کیفیت زندگی، به‌عنوان راهکاری جامع برای مواجهه با چالش‌های زیست‌محیطی و انسانی مطرح است.

پدافند غیرعامل اکولوژیک به‌عنوان رویکردی نوین در حفاظت از جوامع و محیط‌زیست در برابر تهدیدات طبیعی و انسانی، نیازمند بهره‌گیری از ابزارها و راهکارهای پیشـرفته است. در این راسـتا، فناوری‌های هوشـمند به دلیل قابلیت‌هایشـان در تحلیل داده‌ها، بهینه‌سـازی فرایندها و افزایش انعطاف‌پذیری، نقشی کلیدی در تقویت این حوزه ایفا می‌کنند. یکی از ارکان اصلی این پژوهش، چرخه آب شهری است. فناوری‌های هوشـمند از طریق سیسـتم‌های پایش لحظه‌ای و مدیریت بهینه منابع آب، امکان بازچرخانی آب و کاهش هدررفت را فراهم می‌کنند. این امر نه‌تنها به حفاظت از منابع طبیعی کمک می‌کند (ســـراوانی، ابراهیم حدادی، ۱۳۹۵: ۴۶)، بلکه در شـــرایط بحران، انعطاف‌پذیری شـــهری را افزایش می‌دهد. به موازات آن، مدیریت انرژی پاک با اسـتفاده از فناوری‌هایی نظیر اینترنت اشـیا و هوش مصـنوعی، مصـرف انرژی را بهینه کرده و وابسـتگی به سـوخت‌های فسـیلی را کاهش می‌دهد. این رویکرد به طور مسـتقیم با کاهش ردپای کربن مرتبط اسـت و به تعادل اکوسیستم انسانی – طبیعی یاری می‌رساند. حفاظت از منابع طبیعی به‌عنوان یک اصل بنیادین در پدافند غیرعامل اکولوژیک، با بهره‌گیری از فناوری‌های هوشمند نظیر حسگرهای زیست‌محیطی و تحلیل داده‌های کلان، قابل تحقق است. این ابزارها امکان پایش مداوم وضعیت منابع و پیش‌بینی تهدیدات را فراهم می‌کنند. در این چارچوب، توسعه افقی پایدار مطرح می‌شود که بر توزیع متعادل جمعیت و زیرساخت‌ها تأکید دارد و از تمرکز بیش‌ازحد در مناطق شـهری جلوگیری می‌کند (مفخمی شـهرسـتانی، خراشـادی زاده، ۱۴۰۰: ۹۳). این نوع توسـعه با

کنترل کاربری زمین هم‌راستا بوده و از تخریب اکوسیستم‌های طبیعی ممانعت به عمل می‌آورد. از سوی دیگر، بازسازی بافت فرسوده با استفاده از فناوری‌های هوشمند، نه‌تنها به بهبود کیفیت زندگی ساکنان کمک می‌کند، بلکه با کاهش آسیب‌پذیری در برابر بلایا، به تقویت پدافند غیرعامل منجر می‌شود (شعبانی نژاد و همکاران: ۶۸). این فرایند می‌تواند با ادغام شاخص‌های پایداری نظیر مصرف بهینه انرژی، کاهش آلودگی و افزایش فضای سبز، الگویی برای شهرهای آینده ارائه دهد. (سرتیپی و همکاران، ۱۴۰۱: ۳۹)

بنابراین ارتباط فناوری‌های هوشمند با پدافند غیرعامل اکولوژیک در توانایی آن‌ها برای پایش، پیش‌بینی، و مدیریت تهدیدات نهفته است. این فناوری‌ها با افزایش دقت و سرعت واکنش به بحران‌ها، به حفاظت از اکوسیستم‌ها و کاهش آسیب‌پذیری آن‌ها در برابر تهدیدات کمک می‌کنند. در واقع، فناوری هوشمند به‌عنوان یک ابزار مکمل، پدافند غیرعامل اکولوژیک را از یک رویکرد واکنشی به یک استراتژی پیش فعال و پایدار تبدیل می‌کند. برای بهره‌برداری کامل از این ظرفیت، نیاز به سرمایه‌گذاری، زیرساخت‌های مناسب، و هماهنگی بین بخش‌های مختلف وجود دارد.

دررابطه‌با موضوع تحقیق حاضر، تحقیقاتی به صورت‌های مختلف در داخل و خارج از ایران شکل‌گرفته که در اینجا به چند مورد از آنها اشاره می‌گردد:

روسو[1] (۲۰۲۵) در مقاله به سوی شهرهای هوشمند طبیعت‌محور: پر کردن شکاف میان فناوری و اکولوژی، چارچوب مفهومی نوین برای شهرهای هوشمند طبیعت‌محور در یک سیستم اجتماعی – فنی – اکولوژیکی پیشنهاد می‌کند. این چارچوب باهدف پر کردن شکاف میان پیشرفت‌های فناوری و اصول اکولوژیکی در رویکرد سنتی شهرهای هوشمند طراحی شده است تا شهرها را به سمت پارادایمی هدایت کند که بر تنوع زیستی تمرکز دارد. نتایج نشان می‌دهد که ادغام اصول شهرهای طبیعت‌محور و شهرهای هوشمند با قابلیت‌های فناوری (مانند هوش مصنوعی، حسگرها، اینترنت اشیا، تحلیل داده‌های بزرگ و یادگیری ماشینی) می‌تواند به توسعه شهرهای هوشمند طبیعت‌محور منجر شود.

کاراخانوف[2] و همکاران (۲۰۲۴) در مقاله فناوری‌های هوشمند مورد استفاده در تجزیه‌وتحلیل داده‌های زیست‌محیطی حیاتی، فناوری‌های هوشمند مانند هوش مصنوعی، اینترنت اشیا (IoT)، و حسگرهای پیشرفته در تحلیل داده‌های زیست‌محیطی حیاتی نقش مهمی ایفا می‌کنند. این فناوری‌ها امکان جمع‌آوری، پردازش و تفسیر داده‌های پیچیده مانند کیفیت هوا، دمای محیط، سطح آب، و تنوع زیستی را بادقت و سرعت بالا فراهم می‌کنند. استفاده از این ابزارها به شناسایی الگوها، پیش‌بینی تغییرات اکولوژیکی، و اتخاذ تصمیمات بهینه برای حفاظت از محیط‌زیست کمک می‌کند. همچنین، این فناوری‌ها می‌توانند هزینه‌ها را کاهش داده و کارایی مدیریت منابع طبیعی را افزایش دهند.

آسریفان[3] و همکاران (۲۰۲۴)، در مقاله شهرهای هوشمند زیست‌محیطی: شیوه‌های گردشگری پایدار با بهره‌گیری از فناوری‌های هوشمند، به بررسی چگونگی استفاده از فناوری‌های هوشمند در توسعه شهرهای پایدار و زیست‌محیطی با تمرکز بر صنعت گردشگری می‌پردازد. نتایج نشان می‌دهد که فناوری‌های هوشمند مانند اینترنت اشیا (IoT)، هوش مصنوعی (AI) و تحلیل داده‌های بزرگ می‌توانند به مدیریت بهتر منابع، کاهش اثرات زیست‌محیطی، بهبود تجربه گردشگران و افزایش کارایی خدمات شهری کمک کنند. همچنین، این تحقیق بر اهمیت یکپارچگی زیرساخت‌های هوشمند با سیاست‌های پایداری تأکید دارد تا تعادلی بین رشد اقتصادی، حفاظت از محیط‌زیست و رضایت اجتماعی در شهرهای توریستی ایجاد شود.

برانی[4] و همکاران (۲۰۲۲)، در مقاله شهرهای هوشمندتر و سبزتر از طریق رویکرد سیستم‌های اجتماعی – اکولوژیکی – فناورانه، به بررسی چگونگی استفاده از رویکرد سیستم‌های اجتماعی – اکولوژیکی – فناورانه برای توسعه شهرهای هوشمند و پایدار می‌پردازد. نتایج نشان می‌دهد که ادغام فناوری‌های پیشرفته با ملاحظات اجتماعی و زیست‌محیطی می‌تواند منجر به بهبود مدیریت منابع، کاهش اثرات زیست‌محیطی و افزایش کیفیت زندگی در شهرها شود. این رویکرد بر تعامل بین زیرساخت‌های فناورانه، اکوسیستم‌های طبیعی و نیازهای جوامع انسانی تأکید دارد و راهکارهایی برای طراحی شهری کارآمدتر و سازگار با محیط‌زیست ارائه می‌دهد.

ژو و ژائو[5] (۲۰۱۸)، در مقاله کاربردهای اینترنت اشیا (IoT) در زنجیره صنعت زیست‌محیطی از دیدگاه امنیت اطلاعات و شهر هوشمند، این تحقیق به بررسی کاربردهای اینترنت اشیا (IoT) در زنجیره صنعت زیست‌محیطی با تمرکز بر امنیت اطلاعات و شهر هوشمند، می‌پردازد. نتایج نشان می‌دهد که IoT می‌تواند با بهبود نظارت بر منابع طبیعی، کاهش آلودگی و مدیریت بهینه پسماندها، به پایداری زیست‌محیطی کمک کند. از منظر امنیت اطلاعات، این مطالعه چالش‌هایی مانند حفاظت از داده‌ها، جلوگیری از حملات سایبری و حریم خصوصی را

1 Russo
2 Karakhanova
3 Asrifan
4 Branny
5 Zhu & Zhao

برجسته می‌کند و راهکارهایی نظیر رمزنگاری پیشرفته و پروتکل‌های امنیتی را پیشنهاد می‌دهد. در زمینه شهر هوشمند، IoT با یکپارچه‌سازی سیستم‌های شهری مانند مدیریت ترافیک، انرژی و آب، به افزایش بهره‌وری و کاهش اثرات زیست‌محیطی منجر می‌شود. در نهایت، این تحقیق تأکید می‌کند که موفقیت این کاربردها به هماهنگی بین فناوری، سیاست‌گذاری و آگاهی عمومی وابسته است.

جدیدی (۱۳۹۵)، در مقاله پدافند غیر عامل؛ مدیریت بحران در عرصه تهدیدات دفاعی امنیتی پدافند غیرعامل همان مدیریت بحران، در عرصه تهدیدات دفاعی و حوادث جنگی است. لذا ما در عرصه دفاعی با استفاده از راهکارهای پدافند غیرعامل، می توانیم بحران را به صورت جامع مدیریت کنیم. به عبارتی دیگر پدافند غیرعامل و اصول آن، تضمین کننده مدیریت جامع بحران درعرصه دفاعی در سطح کشور است؛ و نمی توان بدن اجرا و اتخاذ تدابیر پدافند غیرعامل، اجرای مدیریت جامع بحران در عرصه دفاعی را تضمین کرد. دراین مقاله، ضمن ارائه مفاهیم، اهداف و اصول پدافند غیرعامل، انواع مختلف مدل های مدیریت بحران مورد بحث و بررسی قرار داده و نقش پدافند غیرعامل در مدیریت بر بحران های دفاعی تبیین می گردد.

کریم‌زاده و همکاران (۱۳۹۵) در مقاله بررسی رابطه بین پدافند غیرعامل و مدیریت بحران، یافته ها نشان داد که میزان پدافند غیرعامل و مدیریت بحران در استانداری استان بالاتر از حد میانگین است و بین پدافند غیرعامل و آمادگی قبل از بحران با ضریب همبستگی۰/۴۲۸، آمادگی حین بحران با ضریب همبستگی۰/۲۹۱ و آمادگی پس از بحران با ضریب همبستگی۰/۱۲۰ رابطه مثبت وجود دارد. همچنین در بین مولفه های پدافند غیرعامل به ترتیب؛ بهداشت و درمان، فناوری اطلاعات و سایبری، پشتیبانی و آموزش، بیشترین قدرت پیش بینی مدیریت بحران را دارند. همچنین تفاوتی برحسب ویژگیهای دموگرافیک مشاهده نشد. نتایج تحقیق نشان داد که علاوه بر وجود رابطه معنادار و مثبت بین پدافند غیرعامل و مدیریت بحران، تقویت پدافند غیرعامل در استانداری نیز باعث بهبود مدیریت بحران خواهد شد

جدول ۱. مؤلفه‌ها و متغیرهای مورد مطالعه در تحقیق

کد	متغیر	شاخص	کد	متغیر	شاخص
.x1	زیرساخت‌های اکولوژیک شهری	پوشش گیاهی شهری	.x26	فناوری‌های هوشمند و اکولوژی شهری	بلاک‌چین
.x2		شبکه‌های آبی پایدار	.x27		رباتیک محیطی
.x3		کیفیت خاک	.x28		انرژی‌های تجدیدپذیر هوشمند
.x4		تنوع زیستی	.x29		ساختمان‌های هوشمند
.x5		فضاهای سبز متصل	.x30		سیستم‌های پیش‌بینی آب‌وهوا
.x6		جذب کربن	.x31	کیفیت زندگی و سلامت اکولوژیک	کاهش آلودگی هوا
.x7		مدیریت پسماند سبز	.x32		کنترل صدا
.x8		کنترل فرسایش خاک	.x33		سلامت روان شهروندان
.x9		ترمیم اکوسیستم‌های تخریب‌شده	.x34		دسترسی به آب سالم
.x10		تعادل حرارتی	.x35		مدیریت پسماند شهری
.x11	پدافند غیرعامل و تاب‌آوری شهری	مکان‌یابی امن زیرساخت‌ها	.x36		فضاهای تفریحی سبز
.x12		پایش تهدیدات طبیعی	.x37		کاهش مصرف انرژی
.x13		مدیریت بحران	.x38		آموزش زیست‌محیطی
.x14		کاهش آسیب‌پذیری زیرساخت‌ها	.x39		تحرک پایدار
.x15		شبکه‌های ارتباطی اضطراری	.x40		کیفیت بصری منظر
.x16		مدیریت منابع در بحران	.x41	پایداری و تعادل اکوسیستم شهری	چرخه آب شهری
.x17		پایش ترافیک در شرایط اضطراری	.x42		مدیریت انرژی پاک
.x18		مقاوم‌سازی اکولوژیک	.x43		کاهش ردپای کربن
.x19		شناسایی نقاط حساس	.x44		حفاظت از منابع طبیعی
.x20		پیش‌بینی تهدیدات	.x45		توسعه افقی پایدار
.x21	فناوری‌های هوشمند و اکولوژی شهری	حسگرهای محیطی	.x46		تعادل اکوسیستم انسانی – طبیعی
.x22		IoT(شبکه اینترنت اشیا (	.x47		کنترل کاربری زمین
.x23		AI(هوش مصنوعی (	.x48		بازسازی بافت فرسوده
.x24		پهپادهای نظارتی	.x49		شاخص‌های پایداری
.x25		GIS سیستم‌های	.x50		انعطاف‌پذیری شهری

Source: (Branny et al., 2022; Childers et al., 2019; Colding & Barthel, 2017; Ercoskun, 2011; Gazzola & Querci, 2017; Ryumina, 2016; Ulanowicz, 2020; Weng & Yang, 2003; Yamazaki, Nitta, Murakami, & Fukuhara, 2005; Zhang, Yang, & Yu, 2006)

۳. مواد و روش‌ها

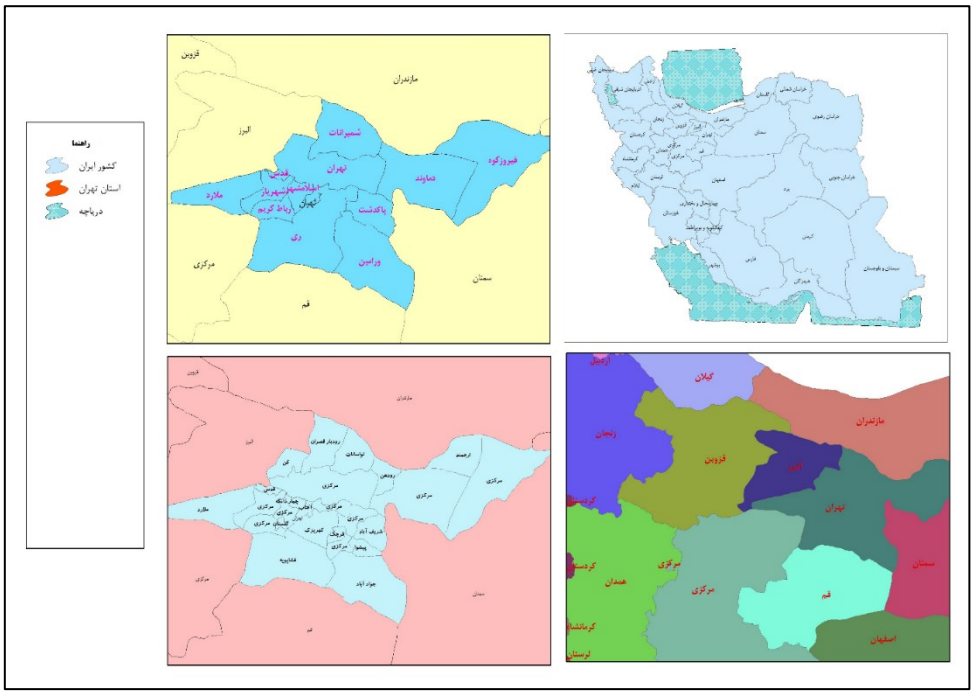
۳-۱. روش پژوهش

پژوهش، از لحاظ هدف توسعه‌ای، و از لحاظ ماهیت توصیفی و پیمایشی و نیز از نوع تحلیلی است. جامعه آماری این تحقیق شامل اساتید، خبرگان و کارشناسان حوزه اکولوژی، محیطزیست و پدافند غیرعامل بوده که به طور تصادفی ۱۰۰ نفر در کلانشهر تهران از دانشگاه‌ها و سازمان‌های این شهر هستند. در این تحقیق از نمونه‌گیری تصادفی ساده استفاده شده است. این فرایند از طریق پرسشنامه‌ای که در اختیار نمونه قرار خواهد گرفت، انجام می‌شود. در این تحقیق، برای جمع‌آوری داده‌ها از پرسشنامه محقق ساخته استفاده خواهد شد. برای تحلیل داده‌ها از دو روش اصلی کمی استفاده شده است: آمار توصیفی: ابتدا داده‌های جمع‌آوری‌شده با استفاده از شاخص‌های آمار توصیفی (مانند میانگین، انحراف معیار، فراوانی و درصدها) تحلیل می‌شوند و روش تحلیل مسیر بر پایه مجموعه‌ای از تحلیل رگرسیون چندگانه و بر اساس فرضیات ارتباط بین متغیرهای مستقل و وابسته استوار است. برای اطمینان از دقت و صحت ابزار اندازه‌گیری (پرسشنامه)، روایی و پایایی آن به طور دقیق بررسی خواهد شد. روایی همگرا و روایی محتوا برای تأیید اعتبار ابزار به کار می‌رود و پایایی ابزار نیز از طریق محاسبه ضریب آلفای کرونباخ و پایایی ترکیبی (CR) ارزیابی می‌شود.

۳-۲. محدوده مورد مطالعه

تهران با جمعیتی بیش از ۸ میلیون نفر و مساحتی حدود ۷۳۰ کیلومتر مربع، به دلیل موقعیت جغرافیایی، تمرکز بالای جمعیتی و زیرساخت‌های حیاتی، در معرض تهدیدات متعددی از جمله زلزله، سیل، آلودگی هوا و حملات احتمالی قرار دارد. پدافند غیرعامل به‌عنوان مجموعه‌ای از اقدامات پیشگیرانه، باهدف کاهش آسیب‌پذیری و افزایش پایداری در برابر این تهدیدات تعریف می‌شود. در مقابل، اکولوژی شهری به تحلیل تعادل میان سیستم‌های طبیعی و مصنوعی در محیط شهری پرداخته و بر ضرورت حفظ منابع طبیعی و کاهش اثرات مخرب فعالیت‌های انسانی تأکید دارد. تلفیق این دو مفهوم می‌تواند به بهبود مدیریت شهری و افزایش تاب‌آوری کلانشهر تهران منجر شود. هدف این مقاله، بررسی چگونگی کاربرد اصول پدافند غیرعامل در راستای تقویت اکولوژی شهری تهران و ارائه راهبردهایی برای توسعه پایدار است. تهران به دلیل قرارگیری بر روی گسل‌های فعال زلزله‌خیز، از جمله گسل شمال تهران و گسل ری، در معرض خطر بالای زلزله قرار دارد. همچنین، تمرکز بالای جمعیت و زیرساخت‌های حیاتی نظیر بیمارستان‌ها، نیروگاه‌ها و شبکه‌های آب و برق، آسیب‌پذیری این شهر را در برابر تهدیدات طبیعی و انسانی افزایش داده است. از منظر پدافند غیرعامل، مشکلاتی نظیر تراکم بالای ساخت‌وساز در مناطق پرخطر، کمبود پناهگاه‌های شهری، و عدم رعایت اصول مکان‌یابی در توسعه زیرساخت‌ها مشهود است. برای مثال، بسیاری از ساختمان‌های بلندمرتبه در نزدیکی گسل‌ها احداث شده‌اند که این امر با اصول پدافند غیرعامل مغایرت دارد. علاوه بر این، سیستم حمل‌ونقل عمومی تهران، به‌ویژه مترو، در صورت وقوع بحران، ظرفیت کافی برای جابه‌جایی ایمن جمعیت را ندارد (سازمان مدیریت بحران شهر تهران، ۱۴۰۳).

پدافند غیرعامل و اکولوژی شهری در تهران دارای نقاط تلاقی متعددی هستند که می‌توانند به‌صورت هم‌افزا عمل کنند. به‌عنوان‌مثال، گسترش فضای سبز و احیای اکوسیستم‌های طبیعی نه‌تنها به کاهش آلودگی هوا و تنظیم دمای شهر کمک می‌کند، بلکه می‌تواند به‌عنوان سپر طبیعی در برابر تهدیداتی نظیر سیل عمل کند. همچنین، طراحی شهری مبتنی بر اصول اکولوژیک، مانند استفاده از بام‌های سبز و دیوارهای گیاهی، می‌تواند به کاهش اثرات جزایر گرمایی و افزایش تاب‌آوری ساختمان‌ها در برابر بلایا کمک کند. از منظر پدافند غیرعامل، مکان‌یابی زیرساخت‌ها در مناطقی با کمترین آسیب‌پذیری زیست‌محیطی، از جمله دور از گسل‌ها و مسیرهای سیل‌خیز، می‌تواند پایداری شهر را افزایش دهد. کلانشهر تهران به دلیل ویژگی‌های خاص جغرافیایی و جمعیتی، نیازمند رویکردی جامع برای مدیریت تهدیدات و حفظ پایداری است. پدافند غیرعامل، با تمرکز بر کاهش آسیب‌پذیری، و اکولوژی شهری، با تأکید بر تعادل زیست‌محیطی، دو رکن اساسی در این مسیر هستند. تلفیق این دو مفهوم از طریق راهکارهایی نظیر توسعه فضای سبز چندمنظوره، مکان‌یابی هوشمند، و طراحی پایدار می‌تواند تهران را به شهری تاب‌آورتر و زیست‌پذیرتر تبدیل کند. در نهایت، موفقیت این رویکرد به همکاری میان دولت، متخصصان و شهروندان بستگی دارد تا از ظرفیت‌های موجود به بهترین شکل استفاده شود.



شکل ۱. موقعیت تهران در کشور، استان و شهرستان

۴. یافته‌ها

طبق بررسی‌های انجام‌گرفته و تکمیل پرسشنامه توسط ۱۰۰ نفر از خبرگان داده‌های حاصل از پرسشنامه به شرح زیر می‌باشد. بر اساس داده‌های حاصل از پرسش نامه میانگین حسابی سنی پاسخ‌دهندگان ۳۷ سال می‌باشد. در حدود ۲۸.۶ درصد کارشناسان مدیریتی شهری دارای تحصیلات کارشناسی، ۳۶ درصد، کارشناسی‌ارشد و ۳۵.۴ درصد تحصیلات دکتری می‌باشند. جنس

جدول .Error! No text of specified style in document۲. مشخصات عمومی پاسخ‌دهندگان نخبگان و کارشناسان

گویه‌های مشخصات عمومی		فراوانی کل	کل میانگین
میانگین سنی (سال)		۱۰۰	۳۷.۵
تحصیلات	کارشناسی	۲۴	۲۸.۶
	کارشناسی‌ارشد	۳۰	۳۶
	دکتری	۴۶	۳۵.۴

منبع: مطالعات نگارندگان

یافته‌ها در جدوسل ۲، نشان می‌دهد که در بین متغیرهای زیرساخت‌های اکولوژیک شهری بالاترین میزان میانگین مربوط به شاخص پوشش گیاهی شـهری (۳/۲۵) و کمترین میزان میانگین مربوط به جذب کربن (۲/۶۷) اسـت. در متغیر پدافند غیرعامل و تاب‌آوری شـهری بالاترین میزان میانگین مربوط به شـاخص پایش تهدیدات طبیعی (۳/۴۰) و کمترین میزان میانگین مربوط به شـاخص پیش بینی تهدیدات (۲/۸۰) اسـت. در متغیر فناوری‌های هوشـمند و اکولوژی شـهری بالاترین میزان میانگین مربوط به انرژی‌های تجدید پذیر (۳/۴۵) و کمترین میزان میانگین مربوط به حسگرهای محیطی (۲/۷۳) است. در متغیر کیفیت زندگی و سلامت اکولوژیک بالاترین میزان میانگین مربوط به سلامت روان شهروندان (۳/۲۹) و کمترین میزان میانگین مربوط به تحرک پایدار (۲/۸۳) است. در متغیر پایداری و تعادل اکوسیستم شهری بالاترین میزان میانگین مربوط به شـاخصـهای پایداری (۳/۴۹) و کمترین میزان میانگین مربوط به توسـعه افقی پایدار (۲/۸۴) اسـت. در خصـوص معنی‌داری آزمون هم می‌توان گفت متغیرها در سطح ۹۵ درصد معنادار می‌باشند (جدول ۲).

جدول ۲. آمار توصیفی متغیرها و شاخص‌های تحقیق

متغیر	شاخص	میانگین	انحراف معیار	کران پایین	کران بالا
زیرساخت‌های اکولوژیک شهری	x1	۳/۲۵	/۹۵۷	/۰۶	/۴۴
	x2	۳/۱۴	۱/۱۵۵	-/۰۹	/۳۷
	x3	۳/۱۶	۱/۰۴۲	-/۰۵	/۳۷
	x4	۲/۹۰	۱/۰۹۶	-/۳۲	/۱۲
	x5	۲/۹۰	۱/۲۵۹	-/۳۵	/۱۵
	x6	۲/۶۷	۱/۲۴۰	-/۵۸	-/۰۸
	x7	۲/۹۹	۱/۱۸۵	-/۲۵	/۲۳
	x8	۲/۹۴	۱/۲۲۹	-/۳۰	/۱۸
	x9	۲/۸۲	۱/۱۲۳	-/۴۰	/۰۴
	x10	۳/۱۴	۱/۲۱۵	-/۱۰	/۳۸
پدافند غیرعامل و تاب‌آوری شهری	x11	۳/۲۷	۱/۰۰۴	/۰۷	/۴۷
	x12	۳/۴۰	۱/۰۶۴	/۱۹	/۶۱
	x13	۳/۲۲	/۸۹۴	/۰۴	/۴۰
	x14	۳/۳۱	/۹۷۱	/۱۲	/۵۰
	x15	۳/۲۶	/۹۶۰	/۰۷	/۴۵
	x16	۳/۱۷	/۹۹۵	-/۰۳	/۳۷
	x17	۳/۲۶	۱/۱۵۱	/۰۳	/۴۹
	x18	۳/۰۱	۱/۲۱۹	-/۲۳	/۲۵
	x19	۳/۱۲	۱/۲۲۵	-/۱۲	/۳۶
	x20	۲/۸۰	۱/۳۷۸	-/۴۷	/۰۷
فناوری‌های هوشمند و اکولوژی شهری	x21	۲/۷۳	۱/۲۸۶	-/۵۳	-/۰۱
	x22	۲/۸۴	۱/۳۶۱	-/۴۳	/۱۱
	x23	۲/۸۴	۱/۳۰۱	-/۴۲	/۱۰
	x24	۲/۸۷	۱/۲۸۴	-/۳۸	/۱۲
	x25	۲/۸۱	۱/۲۱۲	-/۴۳	/۰۵
	x26	۳/۱۹	۱/۰۸۰	-/۰۲	/۴۰
	x27	۳/۲۷	۱/۱۴۵	/۰۴	/۵۰
	x28	۳/۴۵	۱/۰۷۷	/۲۴	/۶۶
	x29	۳/۲۲	۱/۰۹۷	/۰۰	/۴۴
	x30	۳/۳۳	۱/۱۱۱	/۱۱	/۵۵
کیفیت زندگی و سلامت اکولوژیک	x31	۳/۱۴	۱/۰۵۴	-/۰۷	/۳۵
	x32	۳/۲۰	۱/۱۴۶	-/۰۳	/۴۳
	x33	۳/۲۹	/۹۲۴	/۱۱	/۴۷
	x34	۳/۰۹	/۹۹۶	-/۱۱	/۲۹
	x35	۲/۸۵	۱/۲۱۸	-/۳۹	/۰۹
	x36	۲/۹۸	۱/۲۱۴	-/۲۶	/۲۲
	x37	۳/۰۰	۱/۱۶۳	-/۲۳	/۲۳
	x38	۲/۸۹	۱/۲۳۰	-/۳۵	/۱۳
	x39	۲/۸۳	۱/۱۳۸	-/۴۰	/۰۶
	x40	۲/۹۳	۱/۳۰۵	-/۳۳	/۱۹
پایداری و تعادل اکوسیستم شهری	x41	۳/۰۲	۱/۱۳۷	-/۲۱	/۲۵
	x42	۳/۱۶	۱/۱۸۷	-/۰۸	/۴۰
	x43	۳/۰۶	۱/۰۰۳	-/۱۴	/۲۶
	x44	۳/۱۴	۱/۱۱۰	-/۰۸	/۳۶
	x45	۲/۸۴	۱/۱۴۳	-/۳۹	/۰۷
	x46	۲/۸۹	۱/۱۰۰	-/۳۳	/۱۱
	x47	۳/۰۲	۱/۲۳۹	-/۲۳	/۲۷
	x48	۳/۱۵	۱/۱۴۰	-/۰۸	/۳۸
	x49	۳/۴۹	/۹۴۸	/۳۰	/۶۸
	x50	۳/۲۰	۱/۲۳۱	/۰۴	/۴۴

در بخش دیگر به تحلیل مسیر که روشی علمی بر پایه مجموعه‌ای از تحلیل‌های رگرسیون چندگانه بنا شده و بر فرضیه‌هایی درباره روابط میان متغیرهای مستقل و وابسته استوار است، می‌پردازیم. این رویکرد بر بهره‌گیری از یک نمودار بصری، موسوم به دیاگرام مسیر، تأکید دارد که به‌منظور نمایش گرافیکی روابط میان مجموعه متغیرهای مورد مطالعه در تحلیل مسیر استفاده می‌شود. در این روش، روابط میان متغیرها و اثرات آن‌ها باید با استفاده از فلش‌های جهت‌دار به‌صورت شفاف مشخص گردد.

مهم‌ترین مفروضات تحلیل مسیر عبارتند از:

روابط میان متغیرهای موجود در مدل، خطی، جمع‌پذیر و دارای جهت‌گیری علی هستند و روابط غیرخطی یا تعاملی در نظر گرفته نمی‌شوند.

متغیرهای باقیمانده (خطاها) با یکدیگر و با متغیرهایی که پیش از آن‌ها در مدل قرار گرفته‌اند، همبستگی ندارند.

جریان علیت در مدل یک‌طرفه است و علیت دوطرفه یا متقابل میان متغیرها لحاظ نمی‌گردد.

در این مطالعه، پنج متغیر مورد بررسی قرار می‌گیرند که شامل: ۱) زیرساخت‌های اکولوژیک شهری، ۲) پدافند غیرعامل و تاب‌آوری شهری، ۳) فناوری‌های هوشمند و اکولوژی شهری، ۴) کیفیت زندگی و سلامت اکولوژیک، و ۵) پایداری و تعادل اکوسیستم شهری هستند. این متغیرها به‌صورت جمعی در چارچوب تحلیل مسیر مورد ارزیابی قرار می‌گیرند تا تأثیرات و روابط میان آن‌ها مشخص شود.

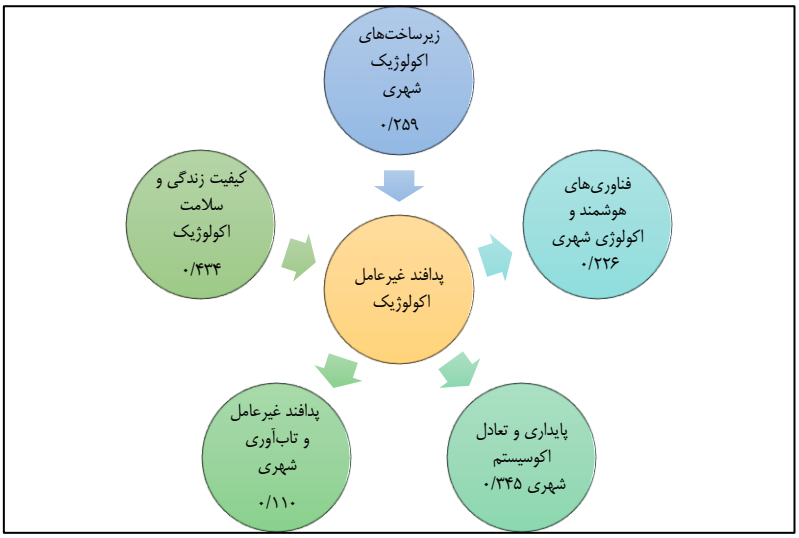
در مرحله اول پدافند غیرعامل اکولوژیک به‌عنوان متغیر وابسته و ۵ متغیر دیگر به‌عنوان متغیرهای مستقل در نظر گرفته می‌شود.

در جدول ۳ نشان می‌دهد ضریب ۰.۴۳۴ نشان می‌دهد که به ازای یک انحراف استاندارد افزایش در کیفیت زندگی و سلامت اکولوژیک، پدافند غیرعامل اکولوژیک به میزان ۰.۴۳۴ انحراف استاندارد افزایش می‌یابد. ضریب ۰.۳۴۵ بیانگر این است که پایداری اکوسیستم شهری نقش مهمی در تقویت پدافند غیرعامل دارد. ضریب زیرساخت‌های اکولوژیک شهری نشان می‌دهد که زیرساخت‌هایی مانند پوشش گیاهی و شبکه‌های آبی پایدار، به طور متوسط بر پدافند غیرعامل تأثیر دارند. ضریب فناوری‌های هوشمند و اکولوژی شهری بیانگر تأثیر متوسط فناوری‌های هوشمند بر پدافند غیرعامل است. متغیر غیرعامل کمترین تأثیر را دارد که ممکن است به دلیل همپوشانی مفهومی با متغیر وابسته باشد.

ضریب بالای کیفیت زندگی و سلامت اکولوژیک نشان می‌دهد که عواملی مانند کاهش آلودگی هوا، دسترسی به آب سالم، و سلامت روان شهروندان، مستقیماً پدافند غیرعامل را تقویت می‌کنند. این یافته منطقی است، زیرا بهبود کیفیت زندگی می‌تواند فشار بر اکوسیستم‌ها را کاهش داده و تاب‌آوری در برابر تهدیدات را افزایش دهد. ضریب ۰.۳۴۵ برای پایداری و تعادل اکوسیستم شهری نشان‌دهنده اهمیت مدیریت منابع طبیعی (آب، خاک، انرژی) و حفظ تعادل اکولوژیک است. این متغیر به‌عنوان یک زیربنای بلندمدت برای پدافند غیرعامل عمل می‌کند. ضرایب ۰.۲۵۹ و ۰.۲۲۶ بیانگر این است که اگرچه زیرساخت‌های اکولوژیک و فناوری‌های هوشمند مهم هستند، اما تأثیر آن‌ها در مقایسه با کیفیت زندگی و پایداری کمتر است. این ممکن است به دلیل عدم یکپارچگی کافی این عناصر در تهران باشد. ضریب پایین ۰.۱۱۰ برای پدافند غیرعامل و تاب‌آوری شهری می‌تواند نشان‌دهنده این باشد که این متغیر به‌صورت مستقل کمتر عمل می‌کند و بیشتر از طریق سایر متغیرها (مانند پایداری) اثر می‌گذارد. جدول ۳ نشان می‌دهد که پدافند غیرعامل اکولوژیک در تهران بیش از همه به کیفیت زندگی و پایداری اکوسیستم وابسته است. این یافته بر ضرورت تلفیق اقدامات زیست‌محیطی و اجتماعی با فناوری‌ها تأکید دارد.

جدول ۳. بررسی رابطه پدافند غیرعامل اکولوژیک با متغیرهای تحقیق

Model	Unstandardized Coefficients		Standardized Coefficients	T	Sig	فاصله اطمینان	
	B	Std. Error	Beta			کران پایین	کران پایین
(Constant)	/۹۹۴	/۴۳۳		۲/۲۹۶	/۰۲۴	/۱۳۴	۱/۸۵۳
زیرساخت‌های اکولوژیک شهری	/۲۹۱	/۱۱۸	/۲۵۹	۲/۴۷۳	/۰۱۵	/۰۵۷	/۵۲۴
پدافند غیرعامل و تاب‌آوری شهری	/۱۵۶	/۱۶۸	/۱۱۰	/۹۳۰	/۰۵۵	-/۱۷۷	/۴۸۹
فناوری‌های هوشمند و اکولوژی شهری	/۲۳۷	/۱۰۷	/۲۲۶	۲/۲۱۷	/۰۲۹	/۰۲۵	/۴۴۹
کیفیت زندگی و سلامت اکولوژیک	/۴۸۴	/۱۵۵	/۴۳۴	۳/۱۱۹	/۰۰۲	/۱۷۶	/۷۹۲
پایداری و تعادل اکوسیستم شهری	-/۴۱۸	/۱۸۳	/۳۴۵	۲-/۲۸۰	/۰۲۵	-/۷۸۲	-/۰۵۴

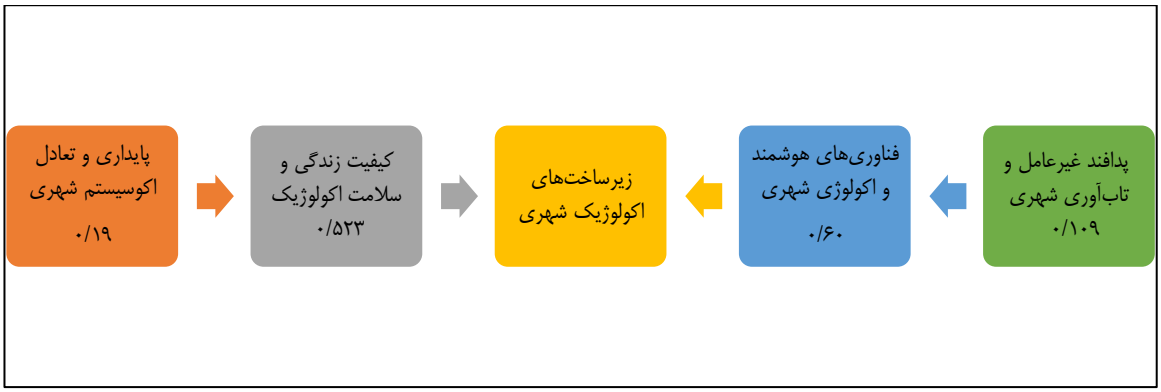


شکل ۲. نمودار ترسیمی برای متغیر وابسته پدافند غیرعامل اکولوژیک

جدول ۴ تأثیر متغیرهای مستقل (پدافند غیرعامل و تاب‌آوری شهری، فناوری‌های هوشمند و اکولوژی شهری، کیفیت زندگی و سلامت اکولوژیک، پایداری و تعادل اکوسیستم شهری) بر متغیر وابسته زیرساخت‌های اکولوژیک شهری را بررسی می‌کند. ضریب ۰.۵۲۳ نشان می‌دهد که بهبود کیفیت زندگی (مانند دسترسی به فضاهای سبز و کاهش آلودگی) مستقیماً زیرساخت‌های اکولوژیک مانند پوشش گیاهی و شبکه‌های آبی را تقویت می‌کند. این ارتباط منطقی است، زیرا تقاضای شهروندان برای محیط‌زیست سالم، توسعه زیرساخت‌ها را تسریع می‌کند. ضریب ۰.۳۷۶ بیانگر این است که تعادل اکوسیستم (مانند بازچرخانی آب و مدیریت پسماند) به‌عنوان یک پیش‌نیاز برای زیرساخت‌های اکولوژیک عمل می‌کند. ضریب ۰.۲۹۸ نشان‌دهنده نقش مکمل فناوری‌ها (مانند حسگرها و GIS) در بهبود زیرساخت‌هاست، اما تأثیر آن کمتر از کیفیت زندگی است، شاید به دلیل محدودیت‌های اجرایی در تهران. ضریب پایین ۰.۱۸۷ ممکن است نشان‌دهنده این باشد که تاب‌آوری بیشتر نتیجه زیرساخت‌هاست تا عامل تقویت‌کننده آن‌ها. بنابراین زیرساخت‌های اکولوژیک شهری به‌شدت تحت‌تأثیر کیفیت زندگی و پایداری اکوسیستم قرار دارند. این یافته بر اهمیت تمرکز بر نیازهای شهروندان و مدیریت پایدار منابع تأکید دارد.

جدول ۴. بررسی رابطه زیرساخت‌های اکولوژیک شهری با متغیرهای تحقیق

Model	Unstandardized Coefficients		Standardized Coefficients	T	Sig	فاصله اطمینان	
	B	Std. Error	Beta			کران پایین	کران پایین
(Constant)	/۸۷۳	/۳۶۷		۲/۳۸۰	/۰۱۹	/۱۴۵	۱/۶۰۱
پدافند غیرعامل و تاب‌آوری شهری	/۱۳۸	/۱۴۶	/۱۰۹	/۹۴۵	/۰۴۷	-/۱۵۲	/۴۲۷
فناوری‌های هوشمند و اکولوژی شهری	/۰۵۶	/۰۹۳	/۰۶۰	/۶۰۶	/۰۴۶	-/۱۲۸	/۲۴۱
کیفیت زندگی و سلامت اکولوژیک	/۵۲۰	/۱۲۴	/۵۲۳	۴/۱۸۱	/۰۰۰	/۲۷۳	/۷۶۷
پایداری و تعادل اکوسیستم شهری	-/۰۲۰	/۱۶۰	/۱۹	-/۱۲۷	/۰۹۹	-/۳۳۸	/۲۹۷



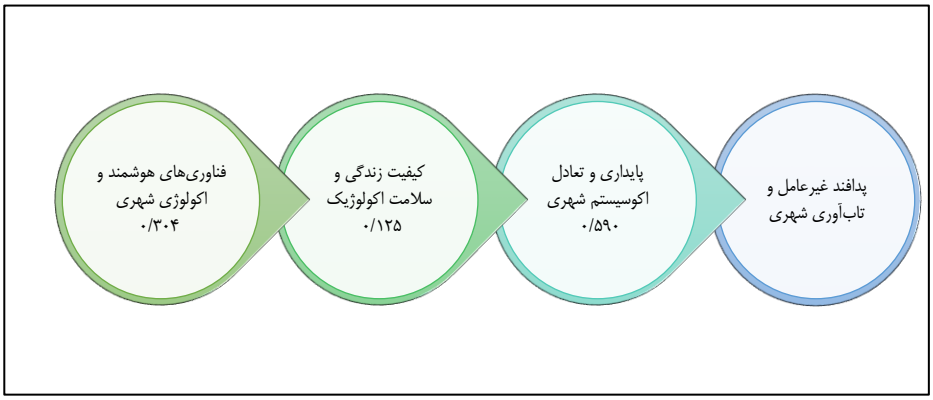
شکل ۳. نمودار ترسیمی برای متغیر وابسته زیرساخت‌های اکولوژیک شهری

ضریب ۰.۵۹۰ نشان می‌دهد که پایداری اکوسیستم (مانند مدیریت منابع و کاهش اثرات اقلیمی) مهم‌ترین عامل تقویت تاب‌آوری شهری است. این منطقی است، زیرا تاب‌آوری در برابر تهدیدات نیازمند اکوسیستم متعادل است. ضریب ۰.۴۱۲ بیانگر این است که سلامت شهروندان و کاهش آلودگی‌ها به تاب‌آوری کمک می‌کند، اما تأثیر آن کمتر از پایداری است. ضرایب ۰.۲۶۷ و ۰.۱۸۹ نشان‌دهنده نقش مکمل این متغیرها هستند. فناوری‌ها احتمالاً به دلیل عدم توسعه کافی، تأثیر کمتری دارند.

تاب‌آوری شهری در تهران به پایداری اکوسیستم وابسته است و کیفیت زندگی نقش مکمل مهمی دارد. فناوری‌ها هنوز به طور کامل در این حوزه اثرگذار نشده‌اند.

جدول ۵. بررسی رابطه پدافند غیرعامل و تاب‌آوری شهری با متغیرهای تحقیق

Model	Unstandardized Coefficients		Standardized Coefficients	T	Sig	فاصله اطمینان	
	B	Std. Error	Beta			کران پایین	کران پایین
(Constant)	۱/۲۲۸	/۲۲۴		۵/۴۷۷	/۰۰۰	/۷۸۳	۱/۶۷۴
فناوری‌های هوشمند و اکولوژی شهری	/۲۲۶	/۰۶۱	/۳۰۴	۳/۶۹۷	/۰۰۰	/۱۰۴	/۳۴۷
کیفیت زندگی و سلامت اکولوژیک	-/۰۹۹	/۰۸۷	/۱۲۵	۱-/۱۴۰	/۰۵۷	-/۲۷۰	/۰۷۳
پایداری و تعادل اکوسیستم شهری	/۵۰۴	/۱۰۰	/۵۹۰	۵/۰۶۷	/۰۰۰	/۳۰۷	/۷۰۲

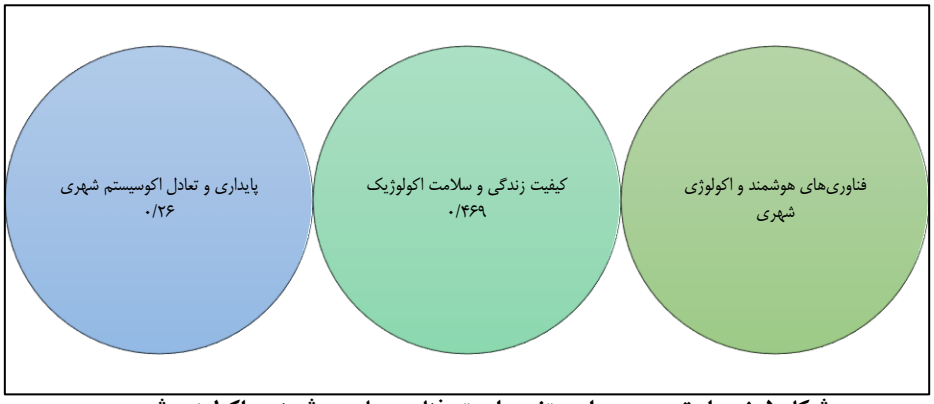


شکل ۴. نمودار ترسیمی برای متغیر وابسته پدافند غیرعامل و تاب‌آوری شهری

جدول ۶ تأثیر متغیرهای مستقل بر متغیر وابسته فناوری‌های هوشمند و اکولوژی شهری را بررسی می‌کند. ضریب ۰.۴۶۹ نشان می‌دهد که فناوری‌های هوشمند (مانند حسگرها و AI) زمانی مؤثرند که به بهبود کیفیت زندگی (مانند کاهش آلودگی) کمک کنند. ضریب ۰.۳۲۱ بیانگر این است که فناوری‌ها در خدمت مدیریت پایدار منابع (مانند آب و انرژی) هستند. ضرایب ۰.۲۵۴ و ۰.۱۷۶ نشان‌دهنده تأثیر کمتر این متغیرها هستند که ممکن است به دلیل عدم یکپارچگی فناوری‌ها با زیرساخت‌ها و تاب‌آوری باشد. فناوری‌های هوشمند در تهران بیشتر به کیفیت زندگی وابسته‌اند و نقش آن‌ها در پایداری و زیرساخت‌ها هنوز به طور کامل محقق نشده است.

جدول ۶. بررسی رابطه فناوری‌های هوشمند و اکولوژی شهری با متغیرهای تحقیق

Model	Unstandardized Coefficients		Standardized Coefficients	T	Sig	فاصله اطمینان	
	B	Std. Error	Beta			کران پایین	کران پایین
(Constant)	۱/۴۶۵	/۳۴۲		۴/۲۸۰	/۰۰۰	/۷۸۶	۲/۱۴۵
کیفیت زندگی و سلامت اکولوژیک	/۵۴۰	/۱۵۶	/۴۶۹	۳/۴۵۶	/۰۰۱	/۲۳۰	/۸۵۱
پایداری و تعادل اکوسیستم شهری	-/۰۲۸	/۱۴۴	/۲۶	-/۱۹۲	/۰۴۸	-/۳۱۳	/۲۵۸

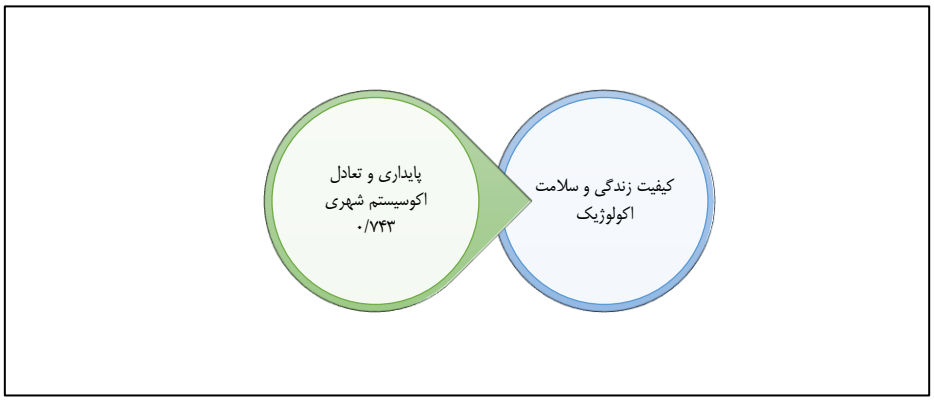


شکل ۵. نمودار ترسیمی برای متغیر وابسته فناوری‌های هوشمند و اکولوژی شهری

جدول ۷ تأثیر متغیرهای مستقل بر متغیر وابسته کیفیت زندگی و سلامت اکولوژیک را نشان می‌دهد. ضریب ۰.۷۴۳ نشان‌دهنده وابستگی شدید کیفیت زندگی به تعادل اکوسیستم است. مدیریت منابع و کاهش اثرات اقلیمی مستقیماً سلامت شهروندان را بهبود می‌دهد. ضریب ۰.۵۲۱ بیانگر نقش کلیدی پوشش گیاهی و فضاهای سبز در کیفیت زندگی است. ضرایب ۰.۳۹۸ و ۰.۲۴۵ نشان‌دهنده تأثیر مکمل این متغیرها هستند، اما پایداری و زیرساخت‌ها غالب‌اند. کیفیت زندگی در تهران به‌شدت به پایداری اکوسیستم و زیرساخت‌ها وابسته است، و فناوری‌ها و تاب‌آوری نقش کمکی دارند.

جدول ۷. بررسی رابطه کیفیت زندگی و سلامت اکولوژیک با متغیرهای تحقیق

Model	Unstandardized Coefficients		Standardized Coefficients	T	Sig	فاصله اطمینان	
	B	Std. Error	Beta			کران پایین	کران پایین
(Constant)	۱/۰۲۹	/۱۹۵		۵/۲۷۰	/۰۰۰	/۶۴۲	۱/۴۱۷
پایداری و تعادل اکوسیستم شهری	/۶۸۵	/۰۶۲	/۷۴۳	۱۱/۰۰۶	/۰۰۰	/۵۶۱	/۸۰۸



شکل ۶. نمودار ترسیمی برای متغیر وابسته کیفیت زندگی و سلامت اکولوژیک

یافته‌های پژوهش نشان می‌دهد متغیر کیفیت زندگی و سلامت اکولوژیک تنها متغیری بوده است که توانسته است تنها به صورت مستقیم بر پدافند غیرعامل اکولوژیکی تأثیر بگذارد. البته چون این متغیر بلافاصله وارد معادله شده و به‌عنوان متغیر وابسته میانی (درونی) در نظر گرفته

شده است. میزان تأثیر مستقیم متغیر کیفیت زندگی و سلامت اکولوژیک بر روی پدفندغیرعامل اکولوژیکی برابر با ۰/۴۳۴ بوده است که نشان می‌دهد به ازای یک واحد تغییر در متغیر کیفیت زندگی و سلامت اکولوژیک، میزان پدافند غیرعامل اکولوژیکی ۰/۴۳۴ واحد تغییر خواهد یافت. باتوجه‌به نتایج حاصل از تحلیل رگرسیون سایر متغیرها هم به صورت مستقیم و هم غیر مستقیم تأثیر گذاشته است.
کیفیت زندگی و سلامت اکولوژیک به‌عنوان یک متغیر میانجی کلیدی در تمام جداول تأثیرگذار است و نشان‌دهنده اهمیت نیازهای انسانی در پدافند غیرعامل است. پایداری و تعادل اکوسیستم شهری به‌عنوان پایه‌ای برای تاب‌آوری و کیفیت زندگی عمل می‌کند. فناوری‌های هوشمند هنوز به طور کامل در اکولوژی و پدافند غیرعامل تهران یکپارچه نشده‌اند و نیاز به توسعه بیشتری دارند.

۵. نتیجه گیری و ارائه پیشنهادها

یافته‌های این پژوهش با مطالعات پیشین هم‌راستاست. به‌عنوان‌مثال، روسو (۲۰۲۵) بر اهمیت ادغام فناوری‌های هوشمند با اصول اکولوژیکی برای توسعه شهرهای پایدار تأکید کرده است که با نتایج این مطالعه مبنی بر نقش کلیدی فناوری‌های هوشمند در پدافند غیرعامل اکولوژیک هم‌خوانی دارد. همچنین، کاراخاناوا. (۲۰۲۴) نشان داده‌اند که ابزارهایی نظیر IoT و AI می‌توانند در تحلیل داده‌های زیست‌محیطی و پیش‌بینی تهدیدات مؤثر باشند که این موضوع در یافته‌های ما در خصوص پایش تهدیدات طبیعی و مدیریت بحران تأیید می‌شود. از سوی دیگر، برنی. (۲۰۲۲) بر رویکرد سیستم‌های اجتماعی – اکولوژیکی – فناورانه تأکید دارند که با پیشنهاد این پژوهش برای یکپارچگی میان زیرساخت‌ها، فناوری، و نیازهای اجتماعی هم‌راستاست. بااین‌حال، این مطالعه تفاوت‌هایی نیز با تحقیقات پیشین دارد. برخلاف بسیاری از مطالعات که بر جنبه‌های حمل‌ونقل یا مدیریت ترافیک در شهرهای هوشمند تمرکز کرده‌اند (ساسان پور و همکاران، ۱۳۹۳)، پژوهش حاضر به طور خاص بر مسائل اکولوژیک و پدافند غیرعامل پرداخته است. این تمرکز نشان‌دهنده شکاف موجود در ادبیات پژوهشی فارسی است که کمتر به این موضوع پرداخته شده و ضرورت تحقیقات بیشتر را برجسته می‌کند. علاوه بر این، نتایج این پژوهش نشان داد که کیفیت زندگی به‌عنوان یک متغیر میانجی، نقش حیاتی در تقویت پدافند غیرعامل دارد که این جنبه کمتر در مطالعات مشابه مورد توجه قرار گرفته است.
یکی از محدودیت‌های این پژوهش، تمرکز صرف بر کلانشهر تهران است که ممکن است تعمیم‌پذیری یافته‌ها به سایر شهرها را با چالش مواجه کند. همچنین، وابستگی به داده‌های پرسشنامه‌ای و نمونه‌گیری تصادفی ممکن است تحت‌تأثیر سوگیری‌های پاسخ‌دهندگان قرار گرفته باشد. بااین‌حال، استفاده از روش تحلیل مسیر و بررسی روایی و پایایی ابزارها، دقت علمی این مطالعه را افزایش داده است. پژوهش حاضر باهدف بررسی نقش فناوری‌های هوشمند در تقویت پدافند غیرعامل اکولوژیک کلانشهر تهران انجام شد. نتایج این پژوهش نشان داد که فناوری‌های هوشمند می‌توانند به‌عنوان ابزاری کلیدی در کاهش آسیب‌پذیری‌های اکولوژیک و افزایش تاب‌آوری کلانشهر تهران در برابر تهدیدات طبیعی و انسانی عمل کنند. یافته‌ها حاکی از آن است که بهبود کیفیت زندگی شهروندان، از طریق کاهش آلودگی هوا، دسترسی به آب سالم و ارتقای سلامت روان، نقش محوری در تقویت پدافند غیرعامل اکولوژیک دارد. همچنین، پایداری و تعادل اکوسیستم شهری به‌عنوان پایه‌ای برای مدیریت تهدیدات و حفظ منابع طبیعی شناخته شد. این مطالعه نشان داد که زیرساخت‌های اکولوژیک شهری، مانند پوشش گیاهی و شبکه‌های آبی پایدار، از طریق ارتقای کیفیت زندگی تقویت می‌شوند و به تاب‌آوری شهر کمک می‌کنند. پایش تهدیدات طبیعی و مدیریت بحران نیز تنها در صورت همراهی با رویکردهای پایدار در اکوسیستم شهری اثربخش خواهد بود. فناوری‌های هوشمند، از جمله حسگرهای محیطی و اینترنت اشیا، با پایش و مدیریت بهینه منابع، راه‌حل‌های نوینی برای چالش‌های اکولوژیک تهران ارائه می‌دهند. ارتباط عمیق میان کیفیت زندگی و پایداری اکوسیستم، بر ضرورت یکپارچگی این مفاهیم در برنامه‌ریزی شهری تأکید دارد. نوآوری این پژوهش در تلفیق بی‌سابقه فناوری‌های هوشمند با اصول پدافند غیرعامل اکولوژیک در بستر کلانشهر تهران نهفته است که رویکردی جامع و بدیع برای مدیریت بحران‌های زیست‌محیطی ارائه می‌دهد. برخلاف مطالعات پیشین که اغلب بر جنبه‌های محدود شهر هوشمند تمرکز داشته‌اند، این تحقیق با برجسته کردن نقش کیفیت زندگی به‌عنوان حلقه اتصال میان فناوری و پایداری اکولوژیک، الگویی خلاقانه و کاربردی را معرفی کرده است. در راستای یافته های تحقیق پیشنهادهای زیر ارائه می گردد:

– بهره‌گیری از حسگرهای محیطی و سیستم‌های هوشمند برای پایش لحظه‌ای تهدیدات طبیعی و مدیریت منابع آب‌وخاک توصیه می‌شود.
– گسترش فضاهای سبز چندمنظوره و بام‌های گیاهی برای کاهش آلودگی و افزایش تاب‌آوری ساختمان‌ها در برابر بلایا ضروری است.
– مکان‌یابی زیرساخت‌های حیاتی باتوجه‌به اصول پدافند غیرعامل و دور از مناطق پرخطر باید در اولویت برنامه‌ریزی شهری قرار گیرد.
– ایجاد پلتفرم‌های تعاملی هوشمند برای جلب مشارکت شهروندان در شناسایی و رفع مشکلات زیست‌محیطی پیشنهاد می‌شود.
– استفاده از سیستم‌های بازچرخانی آب و انرژی‌های تجدیدپذیر برای کاهش فشار بر اکوسیستم‌های شهری و تقویت پایداری آن‌ها لازم است.
– هماهنگی میان نهادهای دولتی و سرمایه‌گذاری در زیرساخت‌های هوشمند به‌منظور تحقق این رویکرد جامع مورد تأکید است.

۶. منابع

۱. اصغرزاده مجید، امجدی رسول، (۱۳۹۳). ملاحظات اساسی پدافند غیرعامل در مدیریت بحران ناشی از حمله به زیرساخت‌های راه آهن، نشریه پدافند غیر عامل و امنیت، ۳(۱۱)، ۴۳-۶۰.

۲. افسری، رسول و حسنعلی زاده، میلاد. (۱۴۰۳). شناسایی و تبیین شاخص‌های تاب‌آوری شهری با رویکرد پدافند غیرعامل (مورد پژوهی: کلان‌شهر تهران). پژوهش‌های جغرافیای انسانی، ۵۶(۳)، ۱۰۹-۱۳۱.

۳. سازمان مدیریت بحران شهر تهران. (۱۴۰۳). گزارش جامع تهدیدات و زیرساخت‌های شهر تهران. تهران: انتشارات شهرداری تهران.

۴. عزیزی علی، داودی دهاقانی ابراهیم، (۱۴۰۰). راهبردهای پدافند غیر عامل در حوزه اجتماعی پلیس، نشریه امنیت ملی، ۱۱(۴۲)، ۲۵۵-۲۸۴.

۵. محمدی ده چشمه، مصطفی، فدائی جزی، فهیمه و پناهی، طوبی. (۱۴۰۳). سنجش آبَر چالش‌های حکمروایی زیست محیطی در کلانشهر اهواز. مخاطرات محیط طبیعی، ۱۳(۴۲)، ۱-۱۴.

۶. جعفری زاده امید، حمزه فرهاد، (۱۳۹۸). مؤلفه سازی پدافند غیرعامل شهری در مقابله با تهدیدات آینده، فصلنامه مطالعات بین رشته‌ای دانش راهبردی، ۹(۳۶)، ۱۸۹-۲۱۶.

۷. جمالی، علی و مدنی، سیدمصطفی. (۱۳۹۴). مقاله پژوهشی: نقش پدافند غیرعامل در بازدارندگی از جنگ. راهبرد دفاعی، ۱۳(۳)، ۱۷۱-۲۰۶.

۸. مدیری محمود، نصرتی شهریار، کریمی شیرازی حامد، (۱۳۹۴). برنامه ریزی مدیریت بحران در حوزهٔ مدیریت شهری با رویکرد پدافند غیرعامل با استفاده از روش SWOT و MCDM، نشریه مدیریت بحران، ۴(۱)، ۵-۱۴.

۹. نباتی عزت اله، عزیزی مهماندوست مهدی، (۱۳۹۳). نقش و کاربرد پدافند غیرعامل در سازمان امداد و نجات جمعیت هلال احمر جمهوری اسلامی ایران، نشریه پدافند غیر عامل و امنیت، ۳(۹)، ۱۰۷-۱۲۲.

۱۰. پوریان محمدتقی، پوررمضان ابراهیم، (۱۳۹۵). نقش پدافند غیرعامل در امنیت زیست محیطی، نشریه پدافند غیر عامل و امنیت، ۵(۱۴)، ۲۱۵-۲۳۸.

۱۱. سراوانی نوید، حدادی ابراهیم، (۱۳۹۵). تأثیر مؤلفه‌های مدیریت دانش بر پدافند غیرعامل مطالعه موردی: جمعیت هلال احمر استان سیستان و بلوچستان)، فصلنامه امداد و نجات، ۷(۳)، ۴۴.

۱۲. سرتیپی زهرا، مدیری مهدی، پیشگاهی فرد زهرا، (۱۴۰۱). تحلیلی بر چالش‌های پیش روی توسعهٔ پایدار منطقه‌ای با تاکید بر معیارهای پدافند غیرعامل (مطالعه موردی: منطقهٔ لواسانات)، نشریه جغرافیا و مطالعات محیطی، ۱۲(۴۵)، ۳۸-۵۰.

۱۳. ساسان پور، فرزانه، تولایی، سیمین، و جعفری اسدآبادی، حمزه. (۱۳۹۳). قابلیت زیست پذیری شهرها در راستای توسعه پایدار شهری (مورد مطالعه: کلانشهر تهران). جغرافیا، ۱۲(۴۲)، ۱۲۹-۱۵۷.

۱۴. شعبانی نژاد رضا، بالی لاشک عارف، سلطانی ایمان، فیاضی حسین، (۱۴۰۰). اصول پدافند غیرعامل سیستم قدرت در برابر تهدیدات الکترومغناطیسی، فصلنامه پدافند غیرعامل، ۱۲(۲)، ۶۵-۸۸.

۱۵. شاهی دشت، غلامرضا، سرور، رحیم و مدیری، مهدی. (۱۴۰۰). واکاوی نظام تحولات و چالش‌ها در فضاهای پیراکلانشهری مورد: کلانشهر مشهد. توسعه فضاهای پیراشهری، ۳(۱)، ۱۹۹-۲۲۱.

۱۶. جدیدی احمد، (۱۳۹۵). پدافند غیر عامل؛ مدیریت بحران در عرصه تهدیدات دفاعی امنیتی، فصلنامه مدیریت بحران و وضعیت‌های اضطراری، ۸(۲۸)، ۱۷۳.

۱۷. کریم‌زاده منصور، منتظرالظهور فردوس، حجت الله مرادی پردنجانی، (۱۳۹۵). بررسی رابطه بین پدافند غیرعامل و مدیریت بحران، نشریه دانش انتظامی چهارمحال و بختیاری، ۴(۱۳)، ۴۱-۶۲.

۱۸. مفخمی شهرستانی حسن، خراشادی زاده محمدرضا، (۱۴۰۰). شبه الگوی مدیریت راهبردی پدافند غیرعامل ناجا در ابعاد پیاده سازی و اجرا در برابر تهدیدات علیه امنیت عمومی کشور، نشریه مطالعات دفاعی استراتژیک، ۱۹(۸۳)، ۹۱-۱۱۰.

19. Anabestani, A., Zolfaghari, M., & Tavakolinia, J. (2023). Development of Impactful Scenarios for Smart Village Approaches on the Sustainability of Peri-Urban Settlements of the Metropolis of Tehran (Case Study: Villages of Islamshahr County). *Journal of Research and Rural Planning, 12*(4), 99-124.
20. Asrifan, A., Murni, M., Hermansyah, S., & Dewi, A. C. (2024). Eco-Smart Cities: Sustainable Tourism Practices Enabled by Smart Technologies. In *Modern Management Science Practices in the Age of AI* (pp. 267-296): IGI Global.
21. Barberini, P. (2022). The Ecological Transition in the Italian Defence. In *Innovative Technologies and Renewed Policies for Achieving a Greener Defence* (pp. 35-56): Springer.
22. Branny, A., Møller, M. S., Korpilo, S., McPhearson, T., Gulsrud, N., Olafsson, A. S.,... Andersson, E. (2022). Smarter greener cities through a social-ecological-technological systems approach. *Current Opinion in Environmental Sustainability, 55*, 101168.

23. Childers, D. L., Bois, P., Hartnett, H. E., McPhearson, T., Metson, G. S., & Sanchez, C. A. (2019). Urban Ecological Infrastructure: An inclusive concept for the non-built urban environment. *Elem Sci Anth, 7*, 46.
24. Colding, J., & Barthel, S. (2017). An urban ecology critique on the Smart City model. *Journal of cleaner production, 164*, 95-101.
25. Ercoskun, O. Y. (2011). *Green and Ecological Technologies for Urban Planning: Creating Smart Cities: Creating Smart Cities*: IGI Global.
26. Gazzola, P., & Querci, E. (2017). The connection between the quality of life and sustainable ecological development. *European Scientific Journal, 13*(12), 361-375.
27. Karakhanova, L., Akramova, L., Rustamova, H., & Khalmuratova, M. (2024). *Smart technologies used in vital ecological data analysis.* Paper presented at the BIO Web of Conferences.
28. Khan, H. H., Malik, M. N., Zafar, R., Goni, F. A., Chofreh, A. G., Klemeš, J. J., & Alotaibi, Y. (2020). Challenges for sustainable smart city development: A conceptual framework. *Sustainable Development, 28*(5), 1507-1518.
29. Russo, A. (2025). Towards Nature-Positive Smart Cities: Bridging the Gap Between Technology and Ecology. *Smart Cities, 8*(1), 26.
30. Ryumina, Y. V. (2016). Ecological aspects of the assessment of quality of life. *Ekonomika Regiona= Economy of Regions*(4), 1113–1122.
31. Shan, Z., Zhang, Y., Zhang, Y., Tang, S., & Wang, W. (2021). A review of recent progress and developments in China smart cities. *IET Smart Cities, 3*(4), 189-200.
32. Taherian, O., & Awami, M. (2019). The need to use non-operational defense in urban strategic areas. *Journal of Semnan Police science, 8*(4), 33-49. Retrieved from https://www.magiran.com/paper/2394394
33. Ulanowicz, R. E. (2020). Quantifying sustainable balance in ecosystem configurations. *Current Research in Environmental Sustainability, 1*, 1-6.
34. Weng, Q., & Yang, S. (2003). An approach to evaluation of sustainability for Guangzhou's urban ecosystem. *The International Journal of Sustainable Development & World Ecology, 10*(1), 69-81.
35. Yamazaki, S., Nitta, H., Murakami, Y., & Fukuhara, S. (2005). Association between ambient air pollution and health-related quality of life in Japan: ecological study. *International journal of environmental health research, 15*(5), 383-391.
36. Zhang, Y., Yang, Z., & Yu, X. (2006). Measurement and evaluation of interactions in complex urban ecosystem. *Ecological Modelling, 196*(1-2), 77-89.
37. Zhu, N., & Zhao, H. (2018). IoT applications in the ecological industry chain from information security and smart city perspectives. *Computers & Electrical Engineering, 65*, 34-43.