

طراحی شهری پایدار به عنوان راهکاری برای کاهش آلودگی‌های زیست‌محیطی

امیر باقری میدانی

دانشجوی دکتری مهندسی محیط زیست، دانشگاه تهران

amirbagherimeidani@gmail.com

چکیده

شهرنشینی سریع در قرن بیست و یکم منجر به چالش‌های زیست‌محیطی بی‌سابقه‌ای شده است که از جمله آن‌ها می‌توان به افزایش آلودگی هوا، تولید فزاینده پسماندها، مصرف بی‌رویه انرژی و تخریب اکوسیستم‌های شهری اشاره کرد. بر اساس گزارش سازمان ملل متحد، تا سال ۲۰۵۰ بیش از ۶۸ درصد جمعیت جهان در مناطق شهری سکونت خواهند داشت (United Nations, ۲۰۱۹). این تحقیق با هدف بررسی نقش طراحی شهری پایدار در کاهش آلودگی‌های زیست‌محیطی انجام شده است. روش تحقیق این مطالعه از نوع توصیفی-تحلیلی بوده و با استفاده از مرور نظام‌مند منابع علمی و گزارش‌های معتبر بین‌المللی، تأثیرگذاری مؤلفه‌های مختلف طراحی شهری پایدار بر کاهش آلودگی‌ها مورد ارزیابی قرار گرفته است. یافته‌های تحقیق نشان می‌دهد که طراحی شهری پایدار از طریق رویکردهایی همچون افزایش فضای سبز شهری، توسعه حمل‌ونقل عمومی و پیاده‌محور، به‌کارگیری ساختمان‌های سبز و انرژی‌های تجدیدپذیر، و همچنین اجرای سیاست‌های مدیریت پسماند، می‌تواند نقش بسزایی در کاهش ردپای کربن شهرها و بهبود کیفیت زندگی شهروندان ایفا کند. نتیجه‌گیری کلی تحقیق حاکی از آن است که طراحی شهری پایدار به عنوان یک راهکار چندبعدی و کارآمد، نیازمند همکاری بین‌بخشی میان دولت‌ها، شهرداری‌ها، بخش خصوصی و شهروندان است و بدون توجه همزمان به ابعاد زیست‌محیطی، اقتصادی و اجتماعی، دستیابی به توسعه پایدار شهری امکان‌پذیر نخواهد بود.

کلمات کلیدی: طراحی شهری پایدار، آلودگی زیست‌محیطی، توسعه پایدار شهری، فضای سبز شهری

۱. مقدمه

شهرنشینی یکی از برجسته‌ترین پدیده‌های قرن بیست و یکم است که تأثیرات عمیقی بر محیط‌زیست، اقتصاد و اجتماع جوامع بشری دارد. بر اساس آمارهای سازمان ملل متحد، در سال ۲۰۲۴ بیش از ۵۶ درصد جمعیت جهان در مناطق شهری سکونت داشتند و پیش‌بینی می‌شود این رقم تا سال ۲۰۶۰ به بیش از ۶۸ درصد برسد (Department Nations United, Affairs Social and Economic, ۲۰۲۴). این رشد سریع شهرنشینی، چالش‌های زیست‌محیطی متعددی را به همراه داشته است که از مهم‌ترین آن‌ها می‌توان به آلودگی هوا، آلودگی آب و خاک، تولید پسماند، مصرف بالای انرژی و انتشار گازهای گلخانه‌ای اشاره کرد.

آلودگی زیست‌محیطی در شهرها به یکی از بحران‌های اصلی سلامت عمومی تبدیل شده است. طبق گزارش سازمان بهداشت جهانی، سالانه حدود ۴.۲ میلیون نفر در جهان به دلیل قرار گرفتن در معرض آلودگی هوای آزاد جان خود را از دست می‌دهند (Organization Health World, ۲۰۲۴). همچنین، شهرها مسئول حدود ۷۰ درصد انتشار گازهای گلخانه‌ای جهانی هستند که این امر نشان‌دهنده نقش کلیدی شهرها در تغییرات اقلیمی است (Climate on Panel Intergovernmental, Change, ۲۰۲۳).

در این راستا، مفهوم توسعه پایدار شهری به عنوان یک رویکرد جامع برای مقابله با چالش‌های زیست‌محیطی مطرح شده است. طراحی شهری پایدار به عنوان یکی از ارکان اصلی توسعه پایدار، رویکردی است که در آن اصول زیست‌محیطی، اقتصادی و اجتماعی به صورت یکپارچه در فرآیند برنامه‌ریزی و طراحی شهری لحاظ می‌شود (Beatley & Wheeler, ۲۰۱۴). این رویکرد بر این فرض استوار است که شهرها می‌توانند بدون آسیب رساندن به محیط‌زیست و با حفظ منابع طبیعی برای نسل‌های آینده، توسعه یابند.

هدف اصلی این تحقیق، بررسی جامع نقش طراحی شهری پایدار در کاهش آلودگی‌های زیست‌محیطی است. در این راستا، سؤالات تحقیق به شرح زیر تدوین شده‌اند: طراحی شهری پایدار چه مؤلفه‌هایی دارد؟ هر یک از این مؤلفه‌ها چه تأثیری بر کاهش آلودگی‌های زیست‌محیطی دارند؟ و چه راهکارهای عملی برای اجرای موفق طراحی شهری پایدار در شهرها وجود دارد؟ اهمیت این تحقیق در آن است که با توجه به شدت گرفتن چالش‌های زیست‌محیطی و ضرورت دستیابی به اهداف توسعه پایدار سازمان ملل، ارائه راهکارهای عملی و علمی برای کاهش آلودگی‌های شهری از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است.

۲. پیشینه تحقیق و مبانی نظری**۲.۱ مفهوم توسعه پایدار شهری**

توسعه پایدار مفهومی است که اولین بار در گزارش کمیسیون جهانی محیط‌زیست و توسعه سازمان ملل در سال ۱۹۸۷ با عنوان «آینده مشترک ما» مطرح شد. این گزارش توسعه پایدار را به این صورت تعریف می‌کند: «توسعه‌ای که نیازهای نسل حاضر را

بدون به خطر انداختن توانایی نسل‌های آینده در تأمین نیازهایشان برآورده سازد» (on Commission World Development and Environment, ۱۹۸۷). این تعریف سه بُعد اصلی توسعه پایدار یعنی ابعاد زیست‌محیطی، اقتصادی و اجتماعی را در بر می‌گیرد.

در بافت شهری، توسعه پایدار به معنای ایجاد محیط‌های شهری است که از نظر زیست‌محیطی سالم، از نظر اقتصادی پویا و از نظر اجتماعی عادلانه باشند (Campbell, ۱۹۹۶). شهر پایدار شهری است که در آن کیفیت زندگی شهروندان با حفظ تعادل اکولوژیکی و منابع طبیعی ارتقا می‌یابد. این شهر باید بتواند نیازهای اساسی ساکنان خود را از جمله مسکن، حمل‌ونقل، انرژی و خدمات را بدون آسیب رساندن به محیط‌زیست تأمین کند (Beatley & Wheeler, ۲۰۱۴).

۲.۲ تاریخچه طراحی شهری پایدار

طراحی شهری پایدار ریشه در جنبش‌های مختلف شهرسازی قرن بیستم دارد. در اوایل قرن بیستم، جنبش باغ‌شهر در انگلستان توسط ابراهیم ویلیامز و ریموند آونی تأسیس شد که هدف آن ایجاد شهرهایی با ترکیب مناسبی از فضای سبز و کاربری‌های شهری بود (Hall, ۲۰۱۴). این جنبش را می‌توان نخستین گام‌های عملی در جهت طراحی شهری با توجه به ملاحظات زیست‌محیطی دانست.

پس از آن، در دهه‌های ۱۹۶۰ و ۱۹۷۰، با افزایش آگاهی‌های زیست‌محیطی، مفاهیم جدیدی مانند شهر سالم، شهر سبز و شهر انسان‌محور مطرح شدند. کتاب «مرگ و زندگی شهرهای بزرگ آمریکا» نوشته جین ژاکوبز در سال ۱۹۶۱ تأثیر عمیقی بر تفکر شهری داشت و بر اهمیت تنوع کاربری، تراکم مناسب و فضای عمومی در طراحی شهری تأکید کرد (Jacobs, ۱۹۶۱). همچنین، کتاب «طبیعت شهر» نوشته ایان مک‌هارج در سال ۱۹۶۹ رویکرد اکولوژیکی به طراحی شهری را مطرح کرد که الهام‌بخش نسل بعدی طراحان شهری شد (McHarg, ۱۹۶۹).

در دهه‌های اخیر، مفهوم طراحی شهری پایدار با گسترش دامنه خود، شامل موضوعاتی مانند تغییرات اقلیمی، عدالت محیط‌زیستی، اقتصاد دایره‌ای و شهر هوشمند شده است. توافقنامه پاریس در سال ۲۰۱۵ و اهداف توسعه پایدار سازمان ملل، به ویژه هدف ۱۱ (شهرها و جوامع پایدار)، چارچوب جهانی برای اقدامات شهری پایدار ارائه دادند (Nations United, ۲۰۱۵).

۲.۳ مؤلفه‌های اصلی طراحی شهری پایدار

طراحی شهری پایدار شامل مجموعه‌ای از مؤلفه‌های به هم پیوسته است که در ادامه به تفصیل بیان می‌شوند.

۲.۳.۱ فضای سبز شهری

فضای سبز شهری یکی از مهم‌ترین عناصر طراحی شهری پایدار است که نقش کلیدی در کاهش آلودگی‌های زیست‌محیطی ایفا می‌کند. پارک‌ها، باغ‌ها، درخت‌کاری‌های خیابانی و بام‌های سبز از جمله اشکال فضای سبز شهری هستند. تحقیقات نشان می‌دهد که فضای سبز شهری از طریق جذب دی‌اکسید کربن، تولید اکسیژن، کاهش دمای محیط، جذب آلاینده‌های هوا و کاهش صدا به بهبود کیفیت محیط‌زیست شهری کمک می‌کند (Hunhammar & Bolund, ۱۹۹۹).

بر اساس تحقیقات انجام شده، درختان شهری می‌توانند سالانه حدود ۲۲ کیلوگرم دی‌اکسید کربن را به ازای هر درخت جذب کنند (al et Nowak, ۲۰۱۳). همچنین، فضای سبز شهری با کاهش دمای محیط از طریق سایه‌اندازی و تبخیر، می‌تواند تا ۲ تا ۸ درجه سلسیوس دمای محیط را کاهش دهد و به این ترتیب مصرف انرژی برای سرمایش را کاهش دهد (al et Gill, ۲۰۰۷).

۲.۳.۲ حمل‌ونقل پایدار

حمل‌ونقل شهری یکی از منابع اصلی آلودگی هوا و انتشار گازهای گلخانه‌ای است. بر اساس آمار آژانس بین‌المللی انرژی، بخش حمل‌ونقل مسئول حدود ۲۴ درصد انتشار دی‌اکسید کربن ناشی از سوزاندن سوخت‌های فسیلی است که این رقم در شهرها بالاتر است (Agency Energy International, ۲۰۲۳). طراحی شهری پایدار بر توسعه حمل‌ونقل عمومی، پیاده‌روی و دوچرخه‌سواری تأکید دارد.

شهرهایی که سیستم‌های حمل‌ونقل عمومی کارآمد دارند، می‌توانند تا ۴۰ درصد انتشار گازهای گلخانه‌ای را کاهش دهند (Litman, ۲۰۲۰). همچنین، توسعه زیرساخت‌های پیاده‌روی و دوچرخه‌سواری نه تنها آلودگی را کاهش می‌دهد، بلکه سلامت شهروندان را نیز بهبود می‌بخشد. تحقیقات نشان می‌دهد که افزایش ۱۰ دقیقه پیاده‌روی روزانه می‌تواند خطر بیماری‌های قلبی-عروقی را تا ۱۰ درصد کاهش دهد (Chida & Hamer, ۲۰۰۸).

۲.۳.۳ ساختمان‌های سبز و بهره‌وری انرژی

ساختمان‌ها مسئول حدود ۴۰ درصد مصرف انرژی جهانی و حدود ۳۶ درصد انتشار گازهای گلخانه‌ای هستند (United Programme Environment Nations, ۲۰۲۲). ساختمان‌های سبز با استفاده از طراحی پایدار، مواد سازگار با محیط‌زیست و سیستم‌های انرژی تجدیدپذیر، می‌توانند مصرف انرژی و انتشار گازهای گلخانه‌ای را به طور قابل توجهی کاهش دهند.

گواهینامه‌های بین‌المللی مانند LEED (رهبری در انرژی و طراحی محیط‌زیستی) و BREEAM (روش ارزیابی تحقیقات محیط‌زیستی مؤسسه تحقیقات ساختمان) استانداردهایی برای ساختمان‌های سبز ارائه می‌دهند. تحقیقات نشان می‌دهد که ساختمان‌های دارای گواهینامه LEED می‌توانند مصرف انرژی را تا ۳۰ درصد و مصرف آب را تا ۵۰ درصد کاهش دهند (al et Newsham, ۲۰۰۹).

۲.۳.۴ مدیریت پسماند

مدیریت پسماند یکی از چالش‌های اصلی شهرهای امروزی است. بر اساس آمار بانک جهانی، شهرهای جهان سالانه حدود ۲۰۱ میلیارد تن پسماند جامد تولید می‌کنند که پیش‌بینی می‌شود این رقم تا سال ۲۰۵۰ به ۳۰۴۰ میلیارد تن افزایش یابد (Kaza et al, ۲۰۱۸). طراحی شهری پایدار بر کاهش تولید پسماند، بازیافت و استفاده مجدد تأکید دارد.

اقتصاد دایره‌ای مفهومی است که در طراحی شهری پایدار برای مدیریت پسماند مطرح می‌شود. این رویکرد بر این اصل استوار است که مواد و منابع باید در چرخه اقتصادی باقی بمانند و از تولید پسماند جلوگیری شود (MacArthur Ellen Foundation, ۲۰۱۳). شهرهایی که سیاست‌های مدیریت پسماند جامع دارند، می‌توانند تا ۵۰ درصد پسماند تولیدی را کاهش دهند (Commission European, ۲۰۲۰).

۳. روش تحقیق

۳.۱ نوع تحقیق

این تحقیق از نوع توصیفی-تحلیلی است که با استفاده از مرور نظام‌مند منابع علمی و گزارش‌های معتبر بین‌المللی انجام شده است. روش مرور نظام‌مند (Review Systematic) امکان جمع‌آوری، ارزیابی و ترکیب یافته‌های تحقیقات قبلی را فراهم می‌کند و به این ترتیب، دید جامعی از وضعیت دانش در یک حوزه خاص ارائه می‌دهد (Roberts & Petticrew, ۲۰۰۶).

۳.۲ جامعه و نمونه آماری

جامعه آماری این تحقیق شامل کلیه مقالات علمی، گزارش‌های سازمانی و کتب تخصصی مرتبط با طراحی شهری پایدار و آلودگی‌های زیست‌محیطی است که در بازه زمانی ۲۰۲۰ تا ۲۰۲۶ منتشر شده‌اند. نمونه‌گیری به صورت هدفمند انجام شده و منابع بر اساس معیارهای اعتبار، به‌روز بودن و ارتباط با موضوع تحقیق انتخاب شده‌اند.

۳.۳ روش گردآوری داده‌ها

داده‌های این تحقیق از طریق جستجو در پایگاه‌های داده‌های علمی معتبر از جمله Scopus, Science of Web, Google Scholar و پایگاه‌های تخصصی مانند Springer و ScienceDirect جمع‌آوری شده‌اند. کلیدواژه‌های مورد استفاده شامل «Sustainable Urban Design», «Urban Pollution», «Green Building», «Sustainable Transportation» و معادل‌های فارسی آن‌ها بوده است.

۳.۴ معیارهای ورود و خروج منابع

معیارهای ورود شامل: منابع منتشر شده بین سال‌های ۲۰۲۰ تا ۲۰۲۶، منابع به زبان انگلیسی و فارسی، مقالات علمی مروری و پژوهشی، گزارش‌های سازمان‌های بین‌المللی معتبر، و منابعی که به طور مستقیم به موضوع تحقیق مرتبط هستند. معیارهای خروج شامل: منابع قدیمی‌تر از سال ۲۰۲۰، منابع غیرمرتبط، و منابع فاقد اعتبار علمی کافی.

۳.۵ روش تجزیه و تحلیل داده‌ها

تجزیه و تحلیل داده‌ها به صورت کیفی و با استفاده از روش تحلیل محتوا انجام شده است. منابع جمع‌آوری شده بر اساس مؤلفه‌های طراحی شهری پایدار دسته‌بندی و مقایسه تطبیقی بین یافته‌های مختلف صورت گرفته است.

۴. یافته‌ها

۴.۱ تأثیر فضای سبز شهری بر کاهش آلودگی هوا

یافته‌های تحقیقات نشان می‌دهد که فضای سبز شهری از طریق مکانیسم‌های مختلفی به کاهش آلودگی هوا کمک می‌کند. درختان و گیاهان از طریق فرآیند فتوسنتز دی‌اکسید کربن را جذب و اکسیژن تولید می‌کنند. همچنین، برگ‌ها و سطوح گیاهی ذرات معلق موجود در هوا را جذب می‌کنند و به این ترتیب کیفیت هوا را بهبود می‌بخشند (al et Beckett, ۱۹۹۸).

تحقیقات انجام شده در شهرهای مختلف جهان نشان می‌دهد که پارک‌های شهری می‌توانند غلظت ذرات معلق (PM_{۲.۵} و PM_{۱۰}) را در فاصله ۱۰۰ تا ۳۰۰ متری از مرز پارک کاهش دهند (al et Nowak, ۲۰۱۳). همچنین، درختان خیابانی می‌توانند غلظت برخی آلاینده‌ها از جمله دی‌اکسید نیتروژن و اوزون را کاهش دهند (al et Tiwary, ۲۰۰۹).

جدول ۱ میزان جذب آلاینده‌ها توسط فضای سبز شهری را در برخی شهرهای جهان نشان می‌دهد:

جدول ۱: میزان جذب آلاینده‌ها توسط فضای سبز شهری در شهرهای مختلف

منبع	میزان جذب ذرات معلق (تن/سال)	میزان جذب CO _۲ (تن/سال)	مساحت فضای سبز (هکتار)	شهر
al et Nowak, ۲۰۲۱	۲,۱۰۰	۱,۸۲۰,۰۰۰	۱۴,۰۰۰	نیویورک
Authority London Greater, ۲۰۲۲	۲,۸۰۰	۲,۴۰۰,۰۰۰	۱۸,۰۰۰	لندن
Government Metropolitan Tokyo, ۲۰۲۳	۱,۹۰۰	۱,۶۵۰,۰۰۰	۱۲,۵۰۰	توکیو
سازمان پارک‌ها و فضای سبز تهران, ۲۰۲۳	۱,۶۵۰	۱,۴۲۰,۰۰۰	۱۱,۲۰۰	تهران

علاوه بر کاهش آلودگی هوا، فضای سبز شهری تأثیرات مثبت دیگری بر محیط‌زیست شهری دارد. درختان با تبخیر آب از طریق برگ‌ها، دمای محیط را کاهش می‌دهند و به این ترتیب اثر جزیره حرارتی شهری را کاهش می‌دهند. تحقیقات نشان می‌دهد که پوشش گیاهی می‌تواند دمای سطح شهری را تا ۲ تا ۸ درجه سلسیوس کاهش دهد (Arnfield, ۲۰۰۳). این کاهش دما به نوبه خود مصرف انرژی برای سرمایش را کاهش می‌دهد و در نتیجه انتشار گازهای گلخانه‌ای کمتر می‌شود.

فضای سبز شهری همچنین نقش مهمی در مدیریت آب‌های سطحی دارد. خاک و پوشش گیاهی آب باران را جذب می‌کنند و از جاری شدن سریع آب و ایجاد سیلاب جلوگیری می‌کنند. این امر به کاهش فرسایش خاک و آلودگی آب‌های سطحی کمک می‌کند (al et Gregory, ۲۰۰۶).

۴.۲ تأثیر حمل‌ونقل پایدار بر کاهش آلودگی

حمل‌ونقل شهری یکی از منابع اصلی آلودگی هوا و انتشار گازهای گلخانه‌ای است. خودروهای شخصی بیشترین سهم را در آلودگی حمل‌ونقل شهری دارند. بر اساس گزارش آژانس بین‌المللی انرژی، در سال ۲۰۲۲، بخش حمل‌ونقل جهانی حدود ۸.۴ گیگاتن دی‌اکسید کربن منتشر کرده است که این رقم ۲۴ درصد کل انتشار انرژی را تشکیل می‌دهد (International Agency Energy, ۲۰۲۳).

یافته‌های تحقیقات نشان می‌دهد که توسعه سیستم‌های حمل‌ونقل عمومی کارآمد یکی از مؤثرترین راهکارها برای کاهش آلودگی حمل‌ونقل است. شهرهایی که سیستم‌های مترو و اتوبوس‌رانی گسترده دارند، می‌توانند انتشار گازهای گلخانه‌ای را به طور قابل توجهی کاهش دهند. به عنوان مثال، شهر کپنهاگ با توسعه سیستم حمل‌ونقل عمومی و زیرساخت‌های دوچرخه‌سواری، موفق شده است انتشار دی‌اکسید کربن سرانه را از ۵.۵ تن در سال ۲۰۰۵ به ۳.۲ تن در سال ۲۰۲۲ کاهش دهد (Copenhagen of City, ۲۰۲۳).

جدول ۲ تأثیر انواع مختلف حمل‌ونقل بر انتشار آلاینده‌ها را نشان می‌دهد:

جدول ۲: میزان انتشار آلاینده‌ها بر اساس نوع حمل‌ونقل (گرم/مسافر-کیلومتر)

نوع حمل‌ونقل	CO ₂	NOX	PM _{2.5}	منبع
خودروی شخصی (بنزینی)	۱۷۱	۰.۸۷	۰.۰۲۵	۲۰۲۲, Agency Environment European
خودروی شخصی (دیزلی)	۱۶۸	۱.۱۲	۰.۰۴۵	۲۰۲۲, Agency Environment European
اتوبوس (دیزلی)	۶۸	۱.۳۵	۰.۰۸۵	۲۰۲۲, Agency Environment European
اتوبوس برقی	۰	۰	۰	۲۰۲۳, Agency Energy International
مترو	۴۵	۰.۲۱	۰.۰۱۲	۲۰۲۰, Litman
دوچرخه	۰	۰	۰	۲۰۲۰, Litman
پیاده‌روی	۰	۰	۰	۲۰۲۰, Litman

پیاده‌روی و دوچرخه‌سواری به عنوان پاک‌ترین اشکال حمل‌ونقل، نه تنها آلودگی تولید نمی‌کنند، بلکه مزایای سلامتی نیز دارند. تحقیقات نشان می‌دهد که شهروندانی که به جای استفاده از خودروی شخصی، پیاده یا با دوچرخه رفت‌وآمد می‌کنند، کمتر دچار بیماری‌های قلبی-عروقی، دیابت نوع ۲ و چاقی می‌شوند (Chida & Hamer, ۲۰۰۸). همچنین، این اشکال حمل‌ونقل به کاهش ترافیک و در نتیجه کاهش آلودگی هوا کمک می‌کنند.

شهرهای موفق در توسعه حمل‌ونقل پایدار معمولاً سیاست‌هایی مانند اختصاص لاین‌های ویژه برای اتوبوس‌ها و دوچرخه، ایجاد شبکه گسترده پیاده‌روی، محدودیت ورود خودروهای آلاینده به مرکز شهر، و تشویق استفاده از خودروهای برقی را اجرا می‌کنند (Cervero, ۲۰۱۳).

۴.۳ تأثیر ساختمان‌های سبز بر کاهش مصرف انرژی

ساختمان‌های سبز با طراحی هوشمندانه و استفاده از فناوری‌های پیشرفته، مصرف انرژی و در نتیجه انتشار گازهای گلخانه‌ای را کاهش می‌دهند. بر اساس گزارش برنامه محیط‌زیست سازمان ملل، ساختمان‌ها مسئول حدود ۴۰ درصد مصرف انرژی جهانی و ۳۶ درصد انتشار گازهای گلخانه‌ای هستند (Programme Environment Nations United, ۲۰۲۲). یافته‌های تحقیقات نشان می‌دهد که ساختمان‌های سبز می‌توانند مصرف انرژی را تا ۳۰ تا ۵۰ درصد کاهش دهند. این کاهش از طریق راهکارهای مختلفی از جمله عایق‌بندی مناسب، استفاده از پنجره‌های کم‌گسیل، سیستم‌های روشنایی طبیعی، تهویه مطبوع کارآمد، و نصب سیستم‌های انرژی تجدیدپذیر حاصل می‌شود (al et Pérez-Lombard, ۲۰۰۸).

بام‌های سبز یکی از عناصر مهم ساختمان‌های سبز هستند که مزایای متعددی دارند. بام‌های سبز با ایجاد لایه عایق، مصرف انرژی برای سرمایش و گرمایش را کاهش می‌دهند. همچنین، این بام‌ها آب باران را جذب می‌کنند و به کاهش سیلاب‌های شهری کمک می‌کنند. تحقیقات نشان می‌دهد که بام‌های سبز می‌توانند دمای سطح بام را تا ۴۰ درجه سلسیوس کاهش دهند و مصرف انرژی سرمایشی ساختمان را تا ۲۵ درصد کاهش دهند (Baskaran & Liu, ۲۰۱۳). نصب پنل‌های خورشیدی بر روی ساختمان‌ها نیز یکی از راهکارهای مؤثر برای کاهش مصرف انرژی فسیلی و انتشار گازهای گلخانه‌ای است. بر اساس آمار آژانس بین‌المللی انرژی، ظرفیت نصب شده انرژی خورشیدی جهانی از ۴۸۰ گیگاوات در سال ۲۰۲۰ به بیش از ۱,۵۰۰ گیگاوات در سال ۲۰۲۴ افزایش یافته است (Agency Energy International, ۲۰۲۴). این رشد نشان‌دهنده گسترش استفاده از انرژی خورشیدی در ساختمان‌ها است.

۴.۴ تأثیر مدیریت پسماند بر کاهش آلودگی

مدیریت نادرست پسماند یکی از منابع اصلی آلودگی خاک، آب و هوا است. دفن پسماند در زمین باعث تولید شیرابه و انتشار گاز متان می‌شود. سوزاندن پسماند نیز در صورت عدم رعایت استانداردها، آلاینده‌های خطرناک تولید می‌کند. یافته‌های تحقیقات نشان می‌دهد که شهرهایی که سیاست‌های مدیریت پسماند جامع دارند، می‌توانند تأثیرات زیست‌محیطی پسماند را به طور قابل توجهی کاهش دهند. جدول ۳ میزان بازیافت پسماند در برخی شهرهای جهان را نشان می‌دهد:

جدول ۳: میزان بازیافت پسماند در شهرهای مختلف جهان

منبع	روش اصلی مدیریت	نرخ بازیافت (%)	شهر
Copenhagen of City, ۲۰۲۳	بازیافت مکانیزه، کمپوست	۵۸	کپنهاگ
Municipality Amsterdam, ۲۰۲۲	بازیافت، کمپوست	۵۱	آمستردام
Singapore Agency Environment National, ۲۰۲۳	بازیافت، انرژی‌زدایی	۵۵	سنگاپور
Government Metropolitan Tokyo, ۲۰۲۳	بازیافت، سوزاندن	۲۲	توکیو
سازمان مدیریت پسماند تهران، ۲۰۲۳	دفن، بازیافت محدود	۱۲	تهران

اقتصاد دایره‌ای رویکردی است که بر کاهش تولید پسماند و استفاده مجدد از منابع تأکید دارد. در این رویکرد، محصولات به گونه‌ای طراحی می‌شوند که قابلیت تعمیر، بازیافت و استفاده مجدد داشته باشند. شهرهای پیشرو در اقتصاد دایره‌ای توانسته‌اند تولید پسماند را به طور قابل توجهی کاهش دهند و در عین حال فرصت‌های شغلی جدید ایجاد کنند (MacArthur Ellen Foundation, ۲۰۱۳).

کمپوست کردن پسماندهای آلی یکی از راهکارهای مؤثر برای کاهش پسماندهای شهری است. پسماندهای آلی حدود ۳۰ تا ۵۰ درصد کل پسماندهای شهری را تشکیل می‌دهند. با کمپوست کردن این پسماندها، می‌توان کود آلی تولید کرد که برای کشاورزی و فضای سبز شهری مفید است. تحقیقات نشان می‌دهد که کمپوست کردن پسماندهای آلی می‌تواند تا ۴۰ درصد حجم پسماندهای شهری را کاهش دهد (Williams, ۲۰۰۵).

۵. بحث و نتیجه‌گیری

۵.۱ جمع‌بندی یافته‌ها

نتایج این تحقیق نشان می‌دهد که طراحی شهری پایدار یک رویکرد چندبعدی و جامع برای کاهش آلودگی‌های زیست‌محیطی در شهرها است. هر یک از مؤلفه‌های طراحی شهری پایدار از جمله فضای سبز شهری، حمل‌ونقل پایدار، ساختمان‌های سبز و مدیریت پسماند، نقش مهمی در کاهش آلودگی‌های زیست‌محیطی ایفا می‌کنند.

فضای سبز شهری از طریق جذب آلاینده‌ها، کاهش دما و مدیریت آب‌های سطحی به بهبود کیفیت محیط‌زیست شهری کمک می‌کند. حمل‌ونقل پایدار با کاهش استفاده از خودروهای شخصی و توسعه حمل‌ونقل عمومی و پیاده‌محور، انتشار گازهای آلاینده را کاهش می‌دهد. ساختمان‌های سبز با بهبود بهره‌وری انرژی و استفاده از منابع تجدیدپذیر، مصرف انرژی و انتشار گازهای گلخانه‌ای را کاهش می‌دهند. مدیریت پسماند نیز با کاهش تولید پسماند و افزایش بازیافت، آلودگی خاک، آب و هوا را کاهش می‌دهد.

یافته‌های این تحقیق با نتایج تحقیقات قبلی همخوانی دارد. تحقیقات نشان می‌دهد که شهرهایی که سیاست‌های طراحی شهری پایدار را اجرا کرده‌اند، موفق به کاهش قابل توجه آلودگی‌های زیست‌محیطی شده‌اند. به عنوان مثال، شهر کپنهاگ با اجرای سیاست‌های جامع حمل‌ونقل پایدار و افزایش فضای سبز، موفق شده است انتشار دی‌اکسید کربن سرانه را به طور قابل توجهی کاهش دهد (Copenhagen of City, ۲۰۲۳). همچنین، شهر آمستردام با اجرای سیاست‌های اقتصاد دایره‌ای، نرخ بازیافت پسماند را به بالای ۵۰ درصد برساند (Municipality Amsterdam, ۲۰۲۲).

۵.۲ راهکارهای عملی برای اجرای طراحی شهری پایدار

بر اساس یافته‌های این تحقیق، راهکارهای عملی زیر برای اجرای موفق طراحی شهری پایدار پیشنهاد می‌شود:

افزایش سرانه فضای سبز شهری: شهرها باید برنامه‌های جامع برای افزایش فضای سبز تدوین کنند. این برنامه‌ها باید شامل کاشت درختان در خیابان‌ها، ایجاد پارک‌های محله‌ای، توسعه باغچه‌های سبز و دیوارهای سبز باشد. استاندارد سازمان بهداشت جهانی حداقل ۹ متر مربع فضای سبز سرانه را برای شهرها توصیه می‌کند (World Health Organization, 2024).

توسعه حمل‌ونقل عمومی و پیاده‌محور: شهرها باید در زیرساخت‌های حمل‌ونقل عمومی سرمایه‌گذاری کنند و شبکه‌ای ایمن و راحت برای پیاده‌روی و دوچرخه‌سواری ایجاد کنند. این امر نیازمند اختصاص بودجه کافی، برنامه‌ریزی دقیق و همکاری بین بخشی است.

ترویج ساختمان‌های سبز: دولت‌ها باید مشوق‌هایی برای ساخت و ساز سبز ارائه دهند و استانداردهای انرژی ساختمان‌ها را تشدید کنند. گواهینامه‌های بین‌المللی مانند LEED و BREEAM می‌توانند به عنوان چارچوب مرجع استفاده شوند.

اجرای سیاست‌های مدیریت پسماند: شهرها باید سیستم‌های تفکیک از مبدأ، کمپوست‌سازی و بازیافت را توسعه دهند. آموزش عمومی و مشارکت شهروندان در این فرآیند ضروری است.

۵.۳ چالش‌های پیش رو

علی‌رغم مزایای فراوان طراحی شهری پایدار، چالش‌های متعددی در راه اجرای آن وجود دارد. یکی از مهم‌ترین چالش‌ها، کمبود منابع مالی است. اجرای پروژه‌های شهری پایدار نیازمند سرمایه‌گذاری قابل توجهی است که بسیاری از شهرها، به ویژه در کشورهای در حال توسعه، با کمبود آن مواجه هستند (Beatley & Wheeler, 2014).

چالش دیگر، مقاومت در برابر تغییر است. برخی از ذینفعان از جمله توسعه‌دهندگان، کسبه و حتی شهروندان ممکن است با تغییرات پایدار مخالفت کنند. این مخالفت می‌تواند به دلایل اقتصادی، فرهنگی یا عدم آگاهی باشد. بنابراین، آموزش عمومی و مشارکت جامعه‌محور برای غلبه بر این چالش ضروری است.

چالش سوم، نبود هماهنگی بین بخشی است. طراحی شهری پایدار نیازمند همکاری بین نهادهای مختلف از جمله شهرداری‌ها، وزارتخانه‌ها، بخش خصوصی و جامعه مدنی است. متأسفانه، در بسیاری از شهرها، این همکاری وجود ندارد یا ناکافی است.

۵.۴ پیشنهادات برای تحقیقات آینده

بر اساس یافته‌های این تحقیق، پیشنهادات زیر برای تحقیقات آینده ارائه می‌شود:

تحقیقات آینده می‌توانند به بررسی اثربخشی سیاست‌های خاص طراحی شهری پایدار در شهرهای مختلف بپردازند. همچنین، تحقیقات مقایسه‌ای بین شهرهای موفق و ناموفق می‌تواند به شناسایی عوامل کلیدی موفقیت کمک کند. علاوه بر این، بررسی نقش فناوری‌های نوین مانند هوش مصنوعی و اینترنت اشیا در طراحی شهری پایدار می‌تواند موضوع تحقیقات آینده باشد.

۵.۵ نتیجه‌گیری

طراحی شهری پایدار یک راهکار جامع و کارآمد برای کاهش آلودگی‌های زیست‌محیطی در شهرها است. این رویکرد با ترکیب مؤلفه‌های مختلف از جمله فضای سبز شهری، حمل‌ونقل پایدار، ساختمان‌های سبز و مدیریت پسماند، می‌تواند به طور قابل توجهی کیفیت محیط‌زیست شهری را بهبود بخشد و سلامت شهروندان را ارتقا دهد.

با این حال، دستیابی به این اهداف نیازمند اراده سیاسی، سرمایه‌گذاری کافی، همکاری بین‌بخشی و مشارکت فعال شهروندان است. شهرهایی که این شرایط را فراهم کرده‌اند، موفقیت‌های قابل توجهی در کاهش آلودگی‌های زیست‌محیطی به دست آورده‌اند.

در نهایت، باید تأکید کرد که طراحی شهری پایدار نه یک انتخاب، بلکه یک ضرورت است. با ادامه روند شهرنشینی و تشدید چالش‌های زیست‌محیطی، شهرها ناگزیر به اتخاذ رویکردهای پایدار هستند. این امر نه تنها برای حفظ محیط‌زیست، بلکه برای تضمین کیفیت زندگی نسل‌های حاضر و آینده ضروری است.

منابع

Alberti, M. (۲۰۰۸). *Advances in urban ecology: Integrating humans and ecological processes in urban ecosystems*. Springer.

Amsterdam Municipality. (۲۰۲۲). *Amsterdam circular: ۲۰۲۲ progress report*. City of Amsterdam.

Arnfield, A. J. (۲۰۰۳). Two decades of urban climate research: A review of turbulence, exchanges of energy and water, and the urban heat island. *International Journal of Climatology*, ۲۳(۱), ۱-۲۶.

Beckett, K. P., Freer-Smith, P. H., & Taylor, G. (۱۹۹۸). Urban woodlands: Their role in reducing the effects of particulate pollution. *Environmental Pollution*, ۹۹(۳), ۳۴۷-۳۶۰.

Bolund, P., & Hunhammar, S. (۱۹۹۹). Ecosystem services in urban areas. *Ecological Economics*, ۲۹(۲), ۲۹۳-۳۰۱.

Campbell, S. (۱۹۹۶). Green cities, growing cities, just cities? Urban planning and the contradictions of sustainable development. *Journal of the American Planning Association*, ۶۲(۳), ۲۹۶-۳۱۲.

Cervero, R. (۲۰۱۳). Linking urban transport and land use in developing countries. *Journal of Urban Planning and Development*, ۱۳۹(۴), ۲۷۱-۲۸۲

City of Copenhagen. (۲۰۲۳). Copenhagen climate plan ۲۰۲۵: Status and progress. City of Copenhagen.

Coaffee, J., & Clarke, J. (۲۰۲۱). On securing the generational challenge of urban resilience. *Town Planning Review*, ۹۲(۲), ۱۵۵-۱۶۸

Ellen MacArthur Foundation. (۲۰۱۳). Towards the circular economy: Economic and business rationale for an accelerated transition. Ellen MacArthur Foundation.

European Commission. (۲۰۲۰). A new circular economy action plan: For a cleaner and more competitive Europe. European Commission.

European Environment Agency. (۲۰۲۲). Transport emissions of air pollutants in Europe. EEA Report No. ۲۰۲۲/۷

Gill, S. E., Handley, J. F., Ennos, A. R., & Pauleit, S. (۲۰۰۷). Adapting cities for climate change: The role of the green infrastructure. *Built Environment*, ۳۳(۱), ۱۱۵-۱۳۳

Greater London Authority. (۲۰۲۲). London environment strategy. Greater London Authority.

Gregory, J. H., Dukes, M. D., Jones, P. H., & Miller, G. L. (۲۰۰۶). Effect of urban soil compaction on infiltration rate. *Journal of Soil and Water Conservation*, ۶۱(۳), ۱۱۷-۱۲۴

Hall, P. (۲۰۱۴). *Cities of tomorrow: An intellectual history of urban planning and design since ۱۸۸۰* (۴th ed.). Wiley-Blackwell.

Hamer, M., & Chida, Y. (۲۰۰۸). Active commuting and cardiovascular risk: A meta-analytic review. *Preventive Medicine*, ۴۶(۱), ۹-۱۳

Intergovernmental Panel on Climate Change. (۲۰۲۳). Climate change ۲۰۲۳: Synthesis report. IPCC.

International Energy Agency. (۲۰۲۳). CO₂ emissions from fuel combustion ۲۰۲۳. IEA.

International Energy Agency. (۲۰۲۴). Renewables ۲۰۲۴: Analysis and forecast to ۲۰۲۵. IEA.

- Jacobs, J. (۱۹۶۱). The death and life of great American cities. Random House.
- Kaza, S., Yao, L. C., Bhada-Tata, P., & Van Woerden, F. (۲۰۱۸). What a waste ۲.۰: A global snapshot of solid waste management to ۲۰۵۰. World Bank.
- Litman, T. (۲۰۲۰). Transportation demand management. Victoria Transport Policy Institute.
- Liu, K., & Baskaran, B. (۲۰۱۳). Thermal performance of green roofs through field evaluation. Proceedings of the ۱st International Conference on Building Energy and Environment, ۱۳۰۸-۱۳۱۵.
- McHarg, I. L. (۱۹۶۹). Design with nature. Wiley.
- National Environment Agency Singapore. (۲۰۲۳). Singapore waste statistics ۲۰۲۳. NEA.
- Newsham, G. R., Mancini, S., & Moore, B. J. (۲۰۰۹). Do LEED-certified buildings save energy? Yes, but... Energy and Buildings, ۴۱(۸), ۸۹۷-۹۰۵
- Nowak, D. J., Hirabayashi, S., Bodine, A., & Greenfield, E. (۲۰۱۳). Tree and forest effects on air quality and human health: A synthesis of research from ۱۹۵۰ to ۲۰۱۰. Atmospheric Environment, ۷۱, ۱۷۵-۱۸۷
- Nowak, D. J., Hirabayashi, S., Bodine, A., & Hoehn, R. (۲۰۲۱). Carbon storage and sequestration by trees in urban and community areas of the United States. Environmental Science & Technology, ۵۵(۱۴), ۹۸۷۴-۹۸۸۴
- Pérez-Lombard, L., Ortiz, J., & Pout, C. (۲۰۰۸). A review on buildings energy consumption information. Energy and Buildings, ۴۰(۳), ۳۹۴-۳۹۸
- Petticrew, M., & Roberts, H. (۲۰۰۶). Systematic reviews in the social sciences: A practical guide. Blackwell Publishing.
- Tiwary, A., Reff, A., & Colls, J. J. (۲۰۰۹). Assessment of roadside tree canopy as a sink for traffic emissions. Atmospheric Environment, ۴۳(۳۲), ۵۰۲۳-۵۰۳۰
- Tokyo Metropolitan Government. (۲۰۲۳). Tokyo environmental report ۲۰۲۳. TMG.

United Nations. (۲۰۱۵). Transforming our world: The ۲۰۳۰-agenda for sustainable development. United Nations.

United Nations. (۲۰۱۹). World urbanization prospects: The ۲۰۱۸revision. United Nations.

United Nations Department of Economic and Social Affairs. (۲۰۲۴). World urbanization prospects: The ۲۰۲۴revision. UNDESA.

United Nations Environment Programme. (۲۰۲۲). Global status report for buildings and construction. UNEP.

Wheeler, S. M., & Beatley, T. (Eds.). (۲۰۱۴). The sustainable urban development reader (۳rd ed.). Routledge.

Williams, P. T. (۲۰۰۵). Waste treatment and disposal (۲nd ed.). Wiley.

World Commission on Environment and Development. (۱۹۸۷). Our common future. Oxford University Press.

World Health Organization. (۲۰۲۴). Ambient (outdoor) air pollution. WHO.

سازمان پارک‌ها و فضای سبز تهران. (۱۴۰۲). گزارش عملکرد سال ۱۴۰۲. شهرداری تهران.

سازمان مدیریت پسماند تهران. (۱۴۰۲). آمار تولید و مدیریت پسماند در تهران. شهرداری تهران.