

ارتباط بین هوشمند سازی ساختمان‌ها و کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای

محمود اسروشی

کارشناسی ارشد عمران، مدیریت ساخت، دانشکده عمران، موسسه غیرانتفاعی مازیار، رویان، ایران

چکیده

در دنیای امروز که با چالش‌های جدی مانند تغییرات اقلیمی و رشد بی‌رویه شهرنشینی مواجه هستیم، توجه به هوشمند سازی ساختمان‌ها به‌عنوان یک راهکار کلیدی برای کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای و بهینه‌سازی مصرف منابع، اهمیت زیادی یافته است. این پژوهش با رویکرد مروری و تحلیل منابع موجود به بررسی تأثیرات هوشمند سازی در کاهش اثرات زیست‌محیطی ناشی از گازهای گلخانه‌ای می‌پردازد. هدف اصلی این مطالعه، شناسایی و تحلیل عوامل مؤثر و استراتژی‌های مناسب در پیاده‌سازی فناوری‌های هوشمند در ساختمان‌ها به‌منظور کاهش انتشار دی‌اکسید کربن و سایر گازهای گلخانه‌ای است. نتایج این پژوهش نشان می‌دهد که استفاده از سیستم‌های مدیریت هوشمند انرژی، سنسورهای متصل و تجزیه و تحلیل داده‌ها می‌تواند به طور معناداری در کاهش مصرف انرژی و کاهش انتشار گازهای مضر اثرگذار باشد. همچنین، به کارگیری منابع انرژی تجدیدپذیر و بهینه‌سازی فرایندهای ساخت، به‌عنوان عوامل کلیدی در کاهش تأثیرات منفی زیست‌محیطی شناسایی شده‌اند. این تحقیق به ارائه راهکارهای عملی و مبتنی بر فناوری‌های نوین برای پیاده‌سازی ساختمان‌های هوشمند و پایدار پرداخته و تأثیرات مثبت این رویکردها بر کاهش گازهای گلخانه‌ای و حفظ محیط زیست را تحلیل می‌کند. در انتها، بر اهمیت مدیریت کارآمد در ساخت و ساز و نظارت بر عملکرد ساختمان‌ها تأکید می‌شود که می‌تواند به بهبود شرایط زیست‌محیطی و ارتقاء کیفیت زندگی ساکنان منجر شود.

واژه‌های کلیدی: ساختمان‌های هوشمند، کاهش گازهای گلخانه‌ای، مدیریت انرژی، انرژی تجدیدپذیر، بهینه‌سازی منابع.

مقدمه

ساختمان‌ها مسئول مصرف مواد و انرژی قابل توجه در جوامع صنعتی هستند، سطوح بسیار بالای آلودگی محیط زیست با صنعت ساخت و ساز همراه است که ناشی از مصرف انرژی در حین استخراج و پردازش مواد و حمل و نقل مواد ساختمانی در سراسر جهان است. (پور کریدشکوهی و همکاران، ۱۳۹۹، ص ۵۲) از این رو امروزه سامانه‌ها با رویکردهای متفاوت به ارزیابی کارایی محیطی ساختمان می‌پردازند. این سامانه‌ها به طور عمده به دو دسته ابزارهای چرخه حیات و سامانه‌های معیار محور تقسیم می‌شوند. سامانه‌های معیار محور با پوشش دادن طیف وسیعی از مقولات پایداری، ارزیابی بنا را بر مبنای متن و شرایط خاص آن انجام می‌دهند. (ماهان و همکاران، ۱۴۰۲، ص ۱۸۱) لذا در حوزه معماری، توجه به مخاطرات زیست‌محیطی و تأثیرات ویرانگر آن بر سلامت و حیات انسان، تأکید بر حفظ سلامت فردی و پیوند عمیق با محیط پیرامون و رضایت خاطر انسان از زندگی در ساختمان‌هایی که امنیت، آسایش و سلامت او را تأمین می‌نماید، سبب شکل‌گیری معماری پایدار گردیده است. (بهزادپور و همکاران، ۱۴۰۱، ص ۶۵) درواقع جنبه‌های زیست‌محیطی ساختمان‌های سبز برای مقابله با تغییرات اقلیمی و ترویج توسعه پایدار بسیار مهم هستند. ساختمان‌های سبز به گونه‌ای طراحی شده‌اند که تأثیرات منفی بر محیط‌زیست را به حداقل برسانند و در عین حال کیفیت زندگی ساکنان را افزایش دهند. این درحالیست که ویژگی‌های کلیدی این بناها شامل کارایی منابع است که ساختمان‌های سبز از انرژی، آب و مواد بهینه استفاده می‌کنند و به طور قابل توجهی زباله و آلودگی را کاهش می‌دهند (Çiner et al,2019,p3). همچنین کیفیت محیط داخلی در این ساختمان‌ها به عواملی مانند کیفیت هوا، راحتی حرارتی و نور طبیعی اهمیت می‌دهد که به سلامت و بهره‌وری ساکنان کمک می‌کند (Kauskale et al,2017,p27) به موجب این امر گواهینامه‌های پایداری مانند LEED رهبری در طراحی انرژی و محیط‌زیست راهنماهایی برای ارزیابی پایداری ساختمان‌ها ارائه می‌دهند که بر جنبه‌های مختلفی مانند کارایی انرژی و صرفه‌جویی در آب تمرکز دارند همچنین، ساختمان‌های سبز نه تنها پایداری زیست‌محیطی را افزایش می‌دهند بلکه با کاهش هزینه‌های عملیاتی و افزایش ارزش ملک، منجر به صرفه‌جویی اقتصادی نیز می‌گردند (Jeumpa et al,2024) به همین دلیل معماری سبز به جای دشمنی با طبیعت انرژی‌های آن را مهار کرده و به بهترین شکل در ساختمان‌ها مورد استفاده قرار می‌گیرد دستیابی به چنین هدفی با اندک نگرشی ممکن می‌شود دلایل زیادی جود دارد که نشان می‌دهد معماری سبز تا چه اندازه در شهرسازی مفید و موثر است. (دهقانی و همکاران، ۱۴۰۳، ص ۳۱۰) بر این اساس ساختمان سبز دارای مزایایی از جمله استفاده از فناوری‌های جدید، بازگشت سرمایه، بهبود کیفیت‌های داخلی ساختمان، بهره‌وری انرژی، بهره‌وری آب، کاهش ضایعات و آلودگی‌های زیست محیطی، تنظیم دما، سبک زندگی سالم و تفریح و ایجاد رفاه برای ساکنین می‌باشد. (شجری و همکاران، ۱۴۰۳، ص ۷۲)

تکنولوژی‌های هوشمند با بهره‌گیری از حسگرها و شبکه‌های سنجش پیشرفته، امکان نظارت دقیق بر شرایط ساختمان را فراهم کرده و با تولید انرژی‌های تجدیدپذیر، به کاهش مصرف انرژی و هزینه‌های جاری کمک شایانی مینماید. این فناوری‌ها، به واسطه بهبود کیفیت هوای داخلی و ایجاد محیطی سالم‌تر و راحت‌تر، به طور چشمگیری بر کیفیت زندگی ساکنان تأثیر می‌گذارند. (Xie et al,2022,p5) ساختمان‌های سبز هوشمند با تلفیق هوشمندسازی و اصول طراحی پایدار، گامی فراتر در جهت کاهش اثرات زیست‌محیطی و ارتقای سلامت و رفاه ساکنان برمی‌دارند (Martinez et al,2021,p5). این ساختمان‌ها با بهره‌گیری از سیستم‌های خودکار و طراحی‌های بیوکلیماتیک، محیطی ایمن، راحت و کارآمد را فراهم می‌آورند و از بروز مشکلاتی مانند "سندرم ساختمان بیمار" جلوگیری می‌کنند. (Martinez et al,2021,p4) پذیرش فناوری‌های هوشمند در ساختمان‌های سبز نه تنها کارایی انرژی را افزایش می‌دهد بلکه نقش حیاتی در کاهش تأثیرات زیست‌محیطی ایفا می‌کند و راه را برای شیوه‌های معماری پایدار هموار می‌سازد (Mi,2024,p64) ترکیب منابع انرژی تجدیدپذیر با فناوری‌های هوشمند همچنین از انتقال به محیط‌های شهری پایدار حمایت کرده و با اهداف جهانی برای کارایی انرژی و حفاظت از محیط زیست هم‌راستا است (Bhutta 2017,p3) سیستم‌های مدیریت انرژی هوشمند، به‌عنوان مثال، مصرف انرژی را بهینه‌سازی می‌کنند که منجر به بهبود کارایی انرژی و کاهش انتشار کربن می‌شود. (Zhu,2024,p18) این سیستم‌ها از فناوری‌های پیشرفته‌ای مانند اینترنت اشیاء (IoT) و هوش مصنوعی (AI) برای نظارت و کنترل مؤثر مصرف انرژی استفاده می‌کنند و در

نتیجه هدررفت را به حداقل می‌رسانند و عملکرد عملیاتی را بهبود می‌بخشند. (Fakhabi et al, 2024, p150) (Umoh et al, 2024, p3782) هوشمند سازی ساختمان سبز همچنین به استفاده از مواد ساختمانی سبز اشاره دارد که نقش مهمی در معماری پایدار ایفا کرده و این مواد با ویژگی‌های دوستدار محیط زیست، شامل کارایی انرژی، حفظ منابع و آسیب حداقلی به محیط زیست، به کاهش اثرات منفی ساخت و ساز کمک می‌کنند (Iwuanyanwu et al, 2024, p4).

ادبیات تحقیق

ویژگی‌های ساختمان‌های سبز

در دنیای امروز، توجه به مسائل زیست‌محیطی و توسعه پایدار به یکی از ضرورت‌های اساسی تبدیل شده است. یکی از راه‌های دستیابی به این اهداف، طراحی و ساخت ساختمان‌های سبز است. ساختمان‌های سبز به‌عنوان یکی از راهکارهای نوین در عرصه ساخت و ساز، با هدف کاهش اثرات منفی بر محیط‌زیست و بهینه‌سازی مصرف منابع طبیعی، طراحی می‌شوند. این ساختمان‌ها نه تنها به بهره‌وری انرژی و کاهش آلودگی کمک می‌کنند، بلکه با بهبود کیفیت زندگی ساکنان، به یک انتخاب پایدار برای آینده تبدیل شده‌اند. (کاشانی زاده و همکاران، ۱۴۰۱: ۶۸) یکی از مهم‌ترین ویژگی‌های ساختمان‌های سبز، بهره‌وری بالا در مصرف انرژی است. این ساختمان‌ها با استفاده از فناوری‌های نوین مانند سیستم‌های انرژی تجدیدپذیر و عایق‌بندی پیشرفته، تلاش می‌کنند تا مصرف انرژی را به حداقل برسانند. همچنین، در این ساختمان‌ها توجه ویژه‌ای به مصرف آب و مدیریت منابع آبی می‌شود که خود به حفظ محیط‌زیست و کاهش فشار بر منابع طبیعی کمک می‌کند. در کنار این موارد، استفاده از مصالح پایدار و سازگار با محیط‌زیست در فرآیند ساخت، یکی دیگر از مزایای برجسته این ساختمان‌ها است. با توجه به اهمیت روزافزون حفاظت از محیط‌زیست و کاهش اثرات منفی توسعه شهری، ساختمان‌های سبز به‌عنوان یک راه‌حل موثر برای تحقق این اهداف به شمار می‌روند. این ساختمان‌ها نه تنها با استفاده از تکنولوژی‌های پیشرفته به بهبود کیفیت محیط زندگی کمک می‌کنند، بلکه به‌عنوان نمادهایی از تغییرات مثبت در صنعت ساخت و ساز، به دنبال ساخت آینده‌ای پایدارتر برای نسل‌های آینده هستند (Debrah et al., 2022: 209).

۱. بهره‌وری انرژی بالا: یکی از ویژگی‌های برجسته ساختمان‌های سبز، بهینه‌سازی مصرف انرژی است. در این ساختمان‌ها، تلاش می‌شود تا انرژی مصرفی به حداقل برسد. این امر از طریق استفاده از فناوری‌های نوین مانند سیستم‌های تهویه مطبوع با کارایی بالا، عایق‌بندی مناسب و استفاده از انرژی‌های تجدیدپذیر مانند انرژی خورشیدی و بادی تحقق می‌یابد. استفاده از پنل‌های خورشیدی برای تأمین برق ساختمان و نصب سیستم‌های حرارتی خورشیدی برای گرمایش آب از جمله روش‌هایی است که در ساختمان‌های سبز رایج است (Ordouei et al., 2024: 279).

۲. استفاده از مصالح پایدار و سازگار با محیط‌زیست: در ساختمان‌های سبز، انتخاب مصالح با ویژگی‌های پایدار و سازگار با محیط‌زیست از اهمیت بالایی برخوردار است. مصالح مورد استفاده در این ساختمان‌ها باید از منابع تجدیدپذیر و بازیافتی تهیه شوند یا حداقل آسیب کمی به محیط‌زیست وارد کنند. برای مثال، استفاده از چوب‌های فرآوری شده به‌طور پایدار یا مصالحی که امکان بازیافت دارند، در ساختمان‌های سبز رایج است (Rabhi et al., 2025: 7).

۳. مدیریت منابع آب: ساختمان‌های سبز به‌طور ویژه به مدیریت آب توجه دارند. این ساختمان‌ها از سیستم‌های جمع‌آوری آب باران برای استفاده مجدد در آبیاری یا سایر مصارف غیر شرب بهره می‌برند. همچنین، نصب تجهیزات کم‌مصرف مانند شیرآلات و دستشویی‌های کم‌مصرف، نقش مهمی در کاهش مصرف آب دارند. این اقدامات نه تنها مصرف آب را کاهش می‌دهند بلکه فشار بر منابع آبی طبیعی را نیز کم می‌کنند. (اکبری و همکاران، ۱۴۰۰: ۲۲)

۴. کیفیت هوا و فضای داخلی: بهبود کیفیت هوای داخل ساختمان یکی دیگر از ویژگی‌های ساختمان‌های سبز است. در این ساختمان‌ها از سیستم‌های تهویه هوای پیشرفته و فیلترهای هوای با کارایی بالا برای حفظ هوای پاک استفاده می‌شود. همچنین، طراحی فضا به گونه‌ای انجام می‌شود که از نور طبیعی بیشتر بهره‌برداری شود که باعث بهبود کیفیت زندگی ساکنین و کاهش نیاز به روشنایی مصنوعی می‌شود (Mannan et al., 2021: 24).

۵. کاهش تولید زباله و استفاده از مواد بازیافتی: ساختمان‌های سبز تلاش می‌کنند تا در فرآیند ساخت، تولید زباله را به حداقل برسانند و از مواد بازیافتی در فرآیند ساخت استفاده کنند. این اقدامات موجب کاهش آلودگی و کم شدن نیاز به منابع طبیعی برای تولید مواد جدید می‌شود. برای مثال، استفاده از بتن بازیافتی یا مصالح ساخته‌شده از ضایعات صنعتی یکی از روش‌های کاهش زباله است. (آقاجانی و همکاران، ۱۴۰۱: ۸۳)

۶. استفاده از فناوری‌های نوین و سیستم‌های هوشمند: ساختمان‌های سبز به‌طور معمول از سیستم‌های هوشمند برای مدیریت مصرف انرژی و منابع استفاده می‌کنند. این سیستم‌ها با استفاده از سنسورها و الگوریتم‌های پیچیده، می‌توانند مصرف انرژی را بهینه کنند و به ساکنین هشدار دهند تا در صورت نیاز تغییراتی در مصرف خود ایجاد کنند. این فناوری‌ها همچنین برای مدیریت تهویه، روشنایی و حتی دما استفاده می‌شوند تا فضای داخلی همیشه در شرایط بهینه باشد. (آقاجانی و همکاران، ۱۴۰۱: ۸۴)

۷. طراحی پایدار و کاهش اثرات زیست‌محیطی: طراحی ساختمان‌های سبز به گونه‌ای است که تأثیرات منفی آن‌ها بر محیط‌زیست به حداقل برسد. این طراحی‌ها معمولاً شامل استفاده از فضای سبز، دیوارهای سبز و سقف‌های سبز است که نه تنها زیبایی ظاهری ساختمان را افزایش می‌دهند، بلکه به حفظ تنوع زیستی و کاهش آلودگی هوا کمک می‌کنند. همچنین، ساختمان‌های سبز به‌گونه‌ای طراحی می‌شوند که به کاهش گرمای شهری و بهبود شرایط اقلیمی محلی کمک کنند (Chen et al., 2024: 754).

ساختمان‌های سبز به‌عنوان نمادهایی از توسعه پایدار در دنیای معاصر شناخته می‌شوند. با توجه به ویژگی‌های منحصر به فردی که این ساختمان‌ها دارند، از جمله بهره‌وری انرژی بالا، مدیریت منابع آب، استفاده از مصالح پایدار و بهبود کیفیت فضای داخلی، می‌توان گفت که این ساختمان‌ها به شدت در جهت حفظ محیط‌زیست و کاهش اثرات منفی آن بر اقلیم جهانی تلاش می‌کنند. این ویژگی‌ها موجب می‌شود که ساختمان‌های سبز نه تنها انتخابی اقتصادی و محیط‌زیستی باشند، بلکه به یک استاندارد جهانی در صنعت ساخت و ساز تبدیل شوند. (Rabhi et al., 2025: 8) از سوی دیگر، توجه به فناوری‌های نوین و استفاده از سیستم‌های هوشمند در ساختمان‌های سبز، به مدیریت بهتر منابع انرژی و بهبود کیفیت زندگی ساکنین کمک می‌کند. این سیستم‌ها با استفاده از سنسورها و الگوریتم‌های پیچیده، مصرف انرژی را بهینه کرده و شرایط بهینه برای ساکنان ایجاد می‌کنند؛ بنابراین، این ساختمان‌ها نه تنها به حفظ منابع طبیعی کمک می‌کنند، بلکه بر رفاه و راحتی انسان‌ها نیز تأثیر می‌گذارند. (اخلاقی و همکاران، ۱۳۹۹: ۶۹) با افزایش آگاهی جوامع و دولت‌ها در زمینه اهمیت حفاظت از محیط‌زیست، آینده ساختمان‌های سبز بسیار روشن به نظر می‌رسد. این ساختمان‌ها نه تنها به کاهش تولید گازهای گلخانه‌ای و آلودگی محیط‌زیست کمک می‌کنند، بلکه به‌عنوان الگویی برای توسعه پایدار در سایر صنایع و بخش‌ها نیز شناخته می‌شوند. در این راستا، سرمایه‌گذاری در این نوع ساختمان‌ها می‌تواند به یک گام مثبت در جهت توسعه‌ای پایدارتر و سازگاری بیشتر با محیط‌زیست منجر شود. (اخلاقی و همکاران، ۱۳۹۹: ۷۰) طراحی و ساخت ساختمان‌های سبز نه تنها به نفع محیط‌زیست، بلکه به نفع اقتصاد و جامعه نیز خواهد بود. با استفاده از این روش‌ها، می‌توان به طور همزمان از منابع طبیعی حفاظت کرده، هزینه‌ها را کاهش داده و کیفیت زندگی بشر را بهبود بخشید؛ بنابراین، گسترش این روند در سطح جهانی می‌تواند به تحقق اهداف توسعه پایدار و ایجاد جهانی سبزتر و سالم‌تر کمک کند. (اکبری و همکاران، ۱۴۰۰: ۲۴)

ساختمان سبز

تاریخچه ساختمان سبز به سال‌ها پیش باز می‌گردد، زمانی که انسان‌ها به اثرات منفی ساختمان‌ها بر محیط زیست و منابع طبیعی پی بردند. ساختمان سبز به معنای طراحی و ساخت ساختمان‌ها با توجه به اصول محیط زیستی و بهره‌وری از منابع طبیعی به گونه‌ای است که کمترین آسیب را به محیط زیست وارد می‌کند. این مفهوم از اوایل دهه ۱۹۷۰ میلادی به طور جدی مطرح شد و در ابتدا در کشورهایی مانند ایالات متحده آمریکا و کشورهای اروپایی مورد توجه قرار گرفت. (Ade et al., 2020: 3) در دهه ۱۹۷۰، بحران انرژی جهانی باعث شد که توجه به صرفه‌جویی در انرژی و استفاده بهینه از منابع طبیعی

بیشتر شود. در این دوره، بسیاری از کشورها قوانین و استانداردهایی را برای کاهش مصرف انرژی در ساختمان‌ها وضع کردند. ساختمان‌های سبز که ابتدا بیشتر به کاهش مصرف انرژی و استفاده از منابع تجدیدپذیر متمرکز بودند، به تدریج توسعه پیدا کردند تا جنبه‌های دیگری همچون بهبود کیفیت هوا، استفاده از مواد سازگار با محیط زیست و مدیریت پسماندها را نیز در بر بگیرند. (Zhang et al., 2024:1132) یکی از اولین گام‌ها در تاریخچه ساختمان سبز، تأسیس سازمان‌هایی بود که استانداردهایی برای ساختمان‌های سبز ایجاد می‌کردند. به عنوان مثال، در ایالات متحده، در سال ۱۹۹۳، سیستم ((لیید)) (LEED) توسط انجمن سبز ساختمان آمریکا (USGBC) معرفی شد. این سیستم برای ارزیابی و صدور گواهینامه برای ساختمان‌های سبز طراحی شده بود و از آن زمان به یکی از معتبرترین استانداردهای جهانی تبدیل شده است. (Karamoozian et al., 2025:352) با گذشت زمان، ساختمان سبز در سطح جهانی گسترش یافت و به یک جنبش جهانی تبدیل شد. بسیاری از کشورها قوانین ملی خود را برای ترویج ساختمان‌های سبز تصویب کردند. به عنوان مثال، کشورهای اسکندیناوی، کانادا، استرالیا و آلمان پیشگام در این حوزه بوده و برنامه‌های مختلفی را برای تشویق به ساخت ساختمان‌های سبز ارائه داده‌اند. در دهه ۲۰۰۰، ساختمان‌های سبز دیگر فقط به کاهش مصرف انرژی محدود نمی‌شدند. طراحی پایدار، استفاده از مواد قابل بازیافت و توجه به رفاه و سلامت ساکنان ساختمان‌ها از دیگر جنبه‌های این نوع ساختمان‌ها شد. همچنین، رشد فناوری‌های نوین مانند پنل‌های خورشیدی، سیستم‌های گرمایش و سرمایش هوشمند و استفاده از انرژی‌های تجدیدپذیر باعث شد که ساختمان‌های سبز از نظر کارایی و بهره‌وری به سطح جدیدی دست یابند. (Sarireh, 2021:84) در نهایت، ساختمان سبز نه تنها به عنوان راهی برای حفظ محیط زیست و منابع طبیعی مطرح است، بلکه به عنوان یک انتخاب اقتصادی نیز شناخته می‌شود. ساختمان‌های سبز معمولاً هزینه‌های عملیاتی کمتری دارند، به ویژه در زمینه مصرف انرژی و می‌توانند موجب بهبود کیفیت زندگی ساکنان خود شوند. در آینده، با پیشرفت‌های تکنولوژیکی و افزایش آگاهی عمومی، انتظار می‌رود که ساختمان‌های سبز بیشتر از گذشته در دنیای مدرن رواج یابند. (Ade et al., 2020:4)

سیستم‌های مدیریت انرژی هوشمند

سیستم‌های مدیریت انرژی هوشمند (Smart Energy Management Systems) یا (SEMS) به مجموعه‌ای از فناوری‌ها و استراتژی‌های نوین اطلاق می‌شود که برای نظارت، کنترل و بهینه‌سازی مصرف انرژی در ساختمان‌ها، صنایع و شبکه‌های انرژی استفاده می‌شود. این سیستم‌ها با بهره‌گیری از سنسورها، داده‌کاو، اینترنت اشیاء (IoT) و الگوریتم‌های هوش مصنوعی، قادرند مصرف انرژی را به طور هوشمندانه مدیریت کرده و از اتلاف منابع جلوگیری کنند. هدف اصلی این سیستم‌ها کاهش هزینه‌های انرژی، بهینه‌سازی مصرف، کاهش اثرات زیست‌محیطی و ارتقاء بهره‌وری انرژی است. (Elkerdany et al., 2025:4) یکی از ویژگی‌های کلیدی سیستم‌های مدیریت انرژی هوشمند، جمع‌آوری داده‌ها از منابع مختلف است. این سیستم‌ها از سنسورهای پیشرفته برای اندازه‌گیری و ثبت وضعیت مصرف انرژی در زمان‌های مختلف استفاده می‌کنند. این داده‌ها به صورت آنی یا با تاخیر جمع‌آوری شده و به سیستم مرکزی ارسال می‌شوند. سپس، سیستم مرکزی با استفاده از الگوریتم‌های پردازش داده و تحلیل پیشرفته، وضعیت مصرف انرژی را بررسی کرده و به مدیران یا کاربران اطلاعات دقیق و به‌روزی ارائه می‌دهد. این تحلیل‌ها به تصمیم‌گیری‌های بهینه برای کاهش مصرف و جلوگیری از هدررفت انرژی کمک می‌کنند. (فتاحی و همکاران، ۱۴۰۱: ۷۳) در سیستم‌های مدیریت انرژی هوشمند، کنترل مصرف انرژی به صورت خودکار و بهینه انجام می‌شود. این سیستم‌ها قادرند با توجه به داده‌های جمع‌آوری شده از سنسورها و وضعیت محیط، به صورت خودکار تجهیزات مختلف مانند روشنایی، تهویه، سیستم‌های گرمایش و سرمایش را تنظیم کنند. به طور مثال، در زمانی که هیچ‌کس در یک اتاق حضور ندارد، سیستم می‌تواند به طور خودکار چراغ‌ها را خاموش کرده یا دما را کاهش دهد. همچنین، در ساعات اوج مصرف، سیستم می‌تواند دستگاه‌ها و تجهیزات پرمصرف را از مدار خارج کند تا فشار بر روی شبکه کاهش یابد. (Mathumitha et al., 2024:36) یکی دیگر از کاربردهای مهم سیستم‌های مدیریت انرژی هوشمند در شبکه‌های انرژی

است. این سیستم‌ها به مدیران شبکه‌های برق کمک می‌کنند تا مصرف انرژی را به‌طور بهینه مدیریت کنند و از وقوع خاموشی‌های ناگهانی جلوگیری نمایند. با استفاده از سیستم‌های هوشمند، شبکه‌ها می‌توانند از انرژی‌های تجدیدپذیر مانند خورشیدی و بادی به‌طور بهینه استفاده کنند و مصرف برق را با توجه به ظرفیت تولید و نیاز شبکه تنظیم کنند. این سیستم‌ها همچنین می‌توانند بار شبکه را به‌طور دینامیک توزیع کرده و از اختلالات جلوگیری کنند. (فتاحی و همکاران، ۱۴۰۱: ۷۴) یکی از چالش‌های مهم در سیستم‌های مدیریت انرژی هوشمند، یکپارچه‌سازی داده‌ها و سیستم‌ها است. این سیستم‌ها معمولاً از فناوری‌های مختلفی مانند IoT، داده‌کاوی و هوش مصنوعی بهره می‌برند که باید به‌طور هماهنگ عمل کنند. این چالش زمانی پیچیده‌تر می‌شود که داده‌های مختلف از منابع گوناگون جمع‌آوری شوند و باید به‌طور مداوم در زمان واقعی پردازش شوند؛ بنابراین، یکپارچه‌سازی و هماهنگی بین سیستم‌های مختلف برای عملکرد صحیح SEMS بسیار حیاتی است. (Alijoyo, 2024: 411) نکته دیگر در رابطه با سیستم‌های مدیریت انرژی هوشمند، اهمیت بهینه‌سازی مصرف انرژی در سطح کلان است. در صنایع بزرگ یا ساختمان‌های چندمنظوره، این سیستم‌ها قادرند الگوهای مصرف را شبیه‌سازی کرده و با استفاده از تحلیل پیشرفته، پیشنهاداتی برای کاهش مصرف یا تغییر ساعات استفاده از انرژی ارائه دهند. به این ترتیب، می‌توانند مصرف انرژی را در سطح کلان و در بلندمدت کاهش دهند. همچنین، این سیستم‌ها می‌توانند به تصمیم‌گیرندگان کمک کنند تا سیاست‌های انرژی پایدارتر و کارآمدتری را تدوین کنند. (Parekh, 2024: 26) یکی از مزایای اصلی سیستم‌های مدیریت انرژی هوشمند، کاهش هزینه‌های انرژی و اثرات زیست‌محیطی است. با توجه به اینکه انرژی یکی از منابع اصلی تولید گازهای گلخانه‌ای و آلودگی‌های محیطی است، بهینه‌سازی مصرف انرژی در ساختمان‌ها و صنایع می‌تواند نقش مؤثری در کاهش این اثرات منفی ایفا کند. علاوه بر این، کاهش هزینه‌های انرژی به‌ویژه در صنایع بزرگ و ساختمان‌های تجاری می‌تواند موجب صرفه‌جویی‌های قابل توجهی شود که در بلندمدت به سود اقتصادی شرکت‌ها و افراد خواهد بود. (Alijoyo, 2024: 412) در نهایت، سیستم‌های مدیریت انرژی هوشمند نه تنها به کاهش هزینه‌ها و بهبود بهره‌وری انرژی کمک می‌کنند، بلکه با افزایش سطح آگاهی کاربران و مدیران از مصرف انرژی، می‌توانند رفتار مصرفی آن‌ها را تغییر دهند. این سیستم‌ها می‌توانند گزارش‌ها و هشدارهایی را به کاربران ارسال کنند تا آن‌ها را از وضعیت مصرف انرژی آگاه کرده و تشویق کنند تا از انرژی به‌طور بهینه‌تر استفاده کنند. در مجموع، SEMS ها به‌عنوان یکی از ابزارهای مهم در راستای توسعه پایدار و بهبود کیفیت زندگی به‌شمار می‌روند. (فتاحی و همکاران، ۱۴۰۱: ۷۴)

جدول ۱- سیستم‌های مدیریت انرژی هوشمند.

منبع (فتاحی و همکاران، ۱۴۰۱: ۷۴)

موضوع	توضیحات
تعریف سیستم‌های مدیریت انرژی هوشمند (SEMS)	مجموعه‌ای از فناوری‌ها و استراتژی‌ها برای نظارت، کنترل و بهینه‌سازی مصرف انرژی در ساختمان‌ها، صنایع و شبکه‌ها.
ویژگی‌های کلیدی SEMS	جمع‌آوری داده‌ها از سنسورها، پردازش داده‌ها با الگوریتم‌های هوش مصنوعی و ارائه اطلاعات به‌روز به کاربران.
کنترل مصرف انرژی	کنترل خودکار مصرف انرژی در دستگاه‌ها مانند روشنایی، تهویه و سیستم‌های گرمایش و سرمایش با توجه به داده‌های جمع‌آوری شده.
کاربرد در شبکه‌های انرژی	کمک به مدیران شبکه‌های برق برای بهینه‌سازی مصرف انرژی و جلوگیری از خاموشی‌های ناگهانی با استفاده از انرژی‌های تجدیدپذیر.
چالش‌ها	یکپارچه‌سازی داده‌ها و هماهنگی بین سیستم‌ها، پردازش داده‌ها به‌طور هماهنگ و در زمان واقعی.

بهینه‌سازی مصرف در سطح کلان	شبیه‌سازی الگوهای مصرف در صنایع بزرگ یا ساختمان‌های چندمنظوره و ارائه پیشنهادات برای کاهش مصرف انرژی.
مزایای اصلی SEMS	کاهش هزینه‌های انرژی و اثرات زیست‌محیطی، بهبود بهره‌وری انرژی و کاهش گازهای گلخانه‌ای و آلودگی‌ها.
تأثیرات اقتصادی و محیطی	کاهش هزینه‌های انرژی به ویژه در صنایع بزرگ و ساختمان‌های تجاری، صرفه‌جویی‌های اقتصادی بلندمدت.
تغییر رفتار مصرف‌کنندگان	افزایش آگاهی کاربران و مدیران از مصرف انرژی و تشویق به استفاده بهینه از انرژی با ارسال گزارش‌ها و هشدارها.
نقش در توسعه پایدار	SEMS ها به‌عنوان ابزارهای مهم در راستای توسعه پایدار و بهبود کیفیت زندگی عمل می‌کنند.

فناوری‌ها و سیستم‌های هوشمند در ساختمان‌ها

ساختمان‌های هوشمند به‌واسطه استفاده از فناوری‌های نوین در طراحی و ساخت، امکان بهره‌برداری بهینه از منابع انرژی، افزایش امنیت و ارتقاء کیفیت زندگی ساکنان را فراهم می‌آورند. یکی از ویژگی‌های برجسته این ساختمان‌ها، استفاده از سیستم‌های خودکار و هوشمند برای کنترل و نظارت بر فعالیت‌های مختلف است. این سیستم‌ها با استفاده از سنسورها، الگوریتم‌ها و ارتباطات بی‌سیم قادرند به‌طور مستمر وضعیت ساختمان را نظارت کرده و اقداماتی مانند تنظیم دما، کنترل روشنایی و نظارت بر امنیت را به‌صورت خودکار انجام دهند. (دولتشاه و همکاران، ۱۴۰۲: ۹۵۳) یکی از فناوری‌های کلیدی در ساختمان‌های هوشمند، سیستم‌های مدیریت ساختمان (BMS) است که به‌عنوان هسته مرکزی ساختمان‌های هوشمند عمل می‌کند. این سیستم‌ها تمامی داده‌های مربوط به وضعیت ساختمان از جمله دما، رطوبت، مصرف انرژی و وضعیت تجهیزات را جمع‌آوری و تحلیل کرده و بر اساس آن‌ها به تصمیم‌گیری خودکار می‌پردازند. BMS می‌تواند به‌طور خودکار مصرف انرژی را بهینه‌سازی کرده و تأسیسات ساختمان را به گونه‌ای مدیریت کند که مصرف منابع طبیعی به حداقل برسد. این سیستم‌ها علاوه بر کاهش هزینه‌ها، تأثیرات زیست‌محیطی را نیز کاهش می‌دهند. (Liu et al., 2025: 329) سیستم‌های روشنایی هوشمند یکی دیگر از اجزای مهم در ساختمان‌های هوشمند هستند که می‌توانند به‌طور خودکار با توجه به شرایط محیطی مانند نور طبیعی یا حرکت افراد تنظیم شوند. به‌عنوان مثال، این سیستم‌ها قادرند نور اتاق‌ها را با توجه به شدت نور محیط تنظیم کرده و مصرف انرژی را بهینه کنند. همچنین، این سیستم‌ها می‌توانند به ساکنان اطلاع دهند که در صورت فراموشی، چراغ‌ها را خاموش نکرده‌اند. سیستم‌های روشنایی هوشمند از فناوری‌هایی مانند سنسورهای حرکت، حسگرهای نور و کنترل‌های از راه دور بهره می‌برند. (Akbas et al., 2024: 2) در زمینه امنیت، ساختمان‌های هوشمند از سیستم‌های پیشرفته‌ای مانند دوربین‌های مدار بسته، سنسورهای حرکت و قفل‌های هوشمند استفاده می‌کنند که امکان نظارت دائمی و دقیق بر وضعیت ساختمان را فراهم می‌آورند. این سیستم‌ها به‌صورت اتوماتیک تهدیدات احتمالی را شناسایی کرده و هشدارهای فوری به ساکنان یا مدیریت ساختمان ارسال می‌کنند. علاوه بر این، سیستم‌های دسترسی هوشمند می‌توانند کنترل ورود و خروج به ساختمان یا قسمت‌های مختلف آن را با استفاده از کارت‌های هوشمند، رمزهای عبور یا فناوری شناسایی چهره فراهم آورند. (Singla et al., 2025: 263) سیستم‌های تهویه و سرمایش/گرمایش هوشمند یکی دیگر از مؤلفه‌های حیاتی در ساختمان‌های هوشمند هستند که با هدف بهینه‌سازی مصرف انرژی و فراهم کردن راحتی بیشتر برای ساکنان طراحی می‌شوند. این سیستم‌ها می‌توانند دمای محیط را به‌طور خودکار با توجه به شرایط محیطی تنظیم کرده و جریان هوای مطلوب را در فضاها یا قسمت‌های مختلف ساختمان فراهم کنند. به‌علاوه، سیستم‌های تهویه هوشمند می‌توانند کیفیت هوای داخل ساختمان را نظارت کرده و در صورت نیاز، به‌طور خودکار اقدامات لازم مانند تهویه بیشتر یا تصفیه هوا را انجام دهند. (دولتشاه و همکاران، ۱۴۰۲: ۹۵۴)

کاهش آلاینده‌ها و کربن‌زدایی در ساختمان‌های هوشمند

کاهش آلاینده‌ها و کربن‌زدایی در ساختمان‌های هوشمند یکی از چالش‌های اساسی در طراحی و بهره‌برداری از محیط‌های شهری پایدار است. با توجه به افزایش جمعیت شهری و تغییرات اقلیمی، نیاز به بهینه‌سازی مصرف انرژی و کاهش تولید گازهای گلخانه‌ای در بخش ساختمان‌ها به یکی از اولویت‌های اصلی در سیاست‌های زیست‌محیطی تبدیل شده است. این هدف به ویژه در ساختمان‌های هوشمند که از فناوری‌های نوین برای مدیریت منابع استفاده می‌کنند، قابل تحقق است. (Borah, 2025: 395)

ساختمان‌های هوشمند به‌عنوان محیط‌هایی که قادر به پاسخگویی به نیازهای کاربران خود به طور خودکار و با استفاده از داده‌های محیطی هستند، توانایی بالایی در کاهش مصرف انرژی و آلاینده‌ها دارند. این ساختمان‌ها با استفاده از سیستم‌های هوشمند نظارت و کنترل، مصرف انرژی را بهینه کرده و از اتلاف منابع جلوگیری می‌کنند. به‌عنوان مثال، سیستم‌های تهویه مطبوع هوشمند قادر به تنظیم دمای داخلی بر اساس شرایط هواشناسی و تعداد افراد حاضر در فضا هستند که این امر منجر به کاهش نیاز به مصرف انرژی و در نتیجه کاهش آلاینده‌ها می‌شود (Almeida et al., 2025: 114).

یکی از مهم‌ترین روش‌های کربن‌زدایی در ساختمان‌های هوشمند استفاده از انرژی‌های تجدیدپذیر است. نصب سیستم‌های پنل خورشیدی، توربین‌های بادی یا پمپ‌های حرارتی در این ساختمان‌ها به کاهش وابستگی به منابع انرژی غیرقابل تجدید و کاهش میزان کربن تولیدی کمک می‌کند. این سیستم‌ها می‌توانند انرژی تولید شده را در باتری‌ها ذخیره کرده و به صورت خودکار مصرف کنند، به طوری که نیازی به استفاده از شبکه‌های برق عمومی نباشد که در بسیاری از موارد از سوخت‌های فسیلی برای تأمین انرژی استفاده می‌کنند (Almeida et al., 2025: 115). علاوه بر استفاده از منابع تجدیدپذیر، بهینه‌سازی مصرف انرژی در ساختمان‌های هوشمند از طریق سیستم‌های مدیریت انرژی نیز امکان‌پذیر است. این سیستم‌ها با استفاده از داده‌های واقعی و پیش‌بینی‌شده، می‌توانند عملکرد ساختمان را بهینه کرده و مصرف انرژی را بر اساس نیاز واقعی تنظیم کنند. این فرآیند نه تنها به کاهش آلاینده‌ها کمک می‌کند، بلکه باعث کاهش هزینه‌های انرژی نیز می‌شود. به‌عنوان مثال، سیستم‌های هوشمند می‌توانند روشنایی ساختمان را بر اساس میزان نور طبیعی تنظیم کنند و این امر موجب کاهش مصرف برق می‌شود. (اکبری و همکاران، ۱۴۰۰: ۲۵)

علاوه بر این، فناوری‌های نوین مانند سیستم‌های بازیافت حرارت و تهویه هوای هوشمند می‌توانند به کاهش آلاینده‌ها و کربن‌زدایی کمک کنند. سیستم‌های بازیافت حرارت، گرمای تولید شده توسط تجهیزات مختلف ساختمان مانند سیستم‌های تهویه و پمپ‌های گرمایی را جمع‌آوری کرده و از آن برای گرم کردن یا سرمایش سایر بخش‌های ساختمان استفاده می‌کنند. این تکنولوژی به ویژه در ساختمان‌های بزرگ و تجاری می‌تواند تأثیرات مثبتی بر کاهش مصرف انرژی و کربن‌زدایی داشته باشد. (Chong et al., 2025: 33)

برای ایجاد ساختمان‌های هوشمند پایدار، علاوه بر استفاده از فناوری‌های جدید، نیاز به طراحی و ساخت ساختمان‌ها با مواد با کارایی بالا و قابلیت بازیافت نیز ضروری است. استفاده از مصالح کم‌کربن مانند بتن‌های بازیافتی، عایق‌های حرارتی و پنجره‌های دو جداره می‌تواند به کاهش انرژی مصرفی و جلوگیری از تولید آلاینده‌ها کمک کند. این مواد به کاهش مصرف انرژی در فصول سرد و گرم سال کمک می‌کنند و در نتیجه، نیاز به سیستم‌های سرمایشی و گرمایشی کمتر خواهد بود. (حبیب و همکاران، ۱۴۰۲: ۴۵)

کنترل و بهینه‌سازی مصرف انرژی در ساختمان‌های هوشمند

کنترل و بهینه‌سازی مصرف انرژی در ساختمان‌های هوشمند یکی از مهم‌ترین مسائل در جهت کاهش هزینه‌ها و حفظ منابع انرژی است. ساختمان‌های هوشمند به کارگیری سیستم‌های پیشرفته و تکنولوژی‌های مدرن را برای مدیریت مصرف انرژی در نظر می‌گیرند. این ساختمان‌ها معمولاً از حسگرها، سیستم‌های خودکار و الگوریتم‌های پیچیده برای تحلیل و مدیریت مصرف انرژی استفاده می‌کنند. هدف اصلی این فرآیند کاهش مصرف انرژی، بهبود کارایی انرژی و کاهش اثرات منفی زیست‌محیطی است. (Billanes et al., 2025: 128)

در ساختمان‌های هوشمند، سیستم‌های مدیریت انرژی قادر به شبیه‌سازی و پیش‌بینی مصرف انرژی هستند. این سیستم‌ها از داده‌های حسگرهای مختلف که در داخل و اطراف ساختمان نصب شده‌اند،

استفاده می‌کنند تا نیازهای انرژی را بررسی کنند. به عنوان مثال، حسگرهای دما، رطوبت و حرکت می‌توانند به طور خودکار سیستم‌های گرمایشی، سرمایشی و روشنایی را تنظیم کنند تا مصرف انرژی به حداقل برسد. این سیستم‌ها نه تنها از هدررفت انرژی جلوگیری می‌کنند بلکه به راحتی می‌توانند به تغییرات در شرایط محیطی واکنش نشان دهند. (Ebeed et al., 2025:37) یکی دیگر از مزایای استفاده از ساختمان‌های هوشمند، کنترل از راه دور است. ساکنان می‌توانند از طریق اپلیکیشن‌های موبایل یا رابط‌های کاربری آنلاین، مصرف انرژی ساختمان خود را نظارت کرده و در صورت لزوم تنظیمات مورد نظر را اعمال کنند. این قابلیت به کاربران این امکان را می‌دهد که مصرف انرژی خود را به طور دقیق‌تر مدیریت کرده و اقدامات پیشگیرانه برای جلوگیری از اتلاف انرژی انجام دهند. (ترتیبیان و همکاران، ۱۴۰۰: ۸۶) در زمینه بهینه‌سازی مصرف انرژی، استفاده از الگوریتم‌های یادگیری ماشین و هوش مصنوعی نیز اهمیت زیادی دارد. این الگوریتم‌ها می‌توانند بر اساس داده‌های جمع‌آوری شده از حسگرها، الگوهای مصرف انرژی را شناسایی کرده و پیش‌بینی‌هایی برای بهبود کارایی انرژی ارائه دهند. به طور مثال، الگوریتم‌های هوشمند می‌توانند زمان‌های اوج مصرف را شناسایی کرده و به طور خودکار مصرف انرژی را در این زمان‌ها کاهش دهند. (الماسی و همکاران، ۱۴۰۳: ۱۸۸) با استفاده از سیستم‌های ذخیره‌سازی انرژی نیز می‌توان مصرف انرژی در ساختمان‌های هوشمند را بهینه کرد. این سیستم‌ها انرژی تولید شده در زمان‌های کم مصرف (مثلاً هنگام روز در صورت استفاده از پنل‌های خورشیدی) را ذخیره می‌کنند و در زمان‌های اوج مصرف، این انرژی ذخیره شده را استفاده می‌کنند. این امر نه تنها به کاهش هزینه‌ها کمک می‌کند، بلکه استفاده از منابع تجدیدپذیر را نیز ترویج می‌دهد. (حاجی رزاقی و همکاران، ۱۴۰۲: ۱۵۹) یک جنبه دیگر از بهینه‌سازی مصرف انرژی در ساختمان‌های هوشمند، استفاده از فناوری‌های ارتباطی مانند اینترنت اشیا (IoT) است. این فناوری به ساختمان‌های هوشمند اجازه می‌دهد تا اجزای مختلف خود را با یکدیگر ارتباط برقرار کنند و به طور هماهنگ مصرف انرژی را مدیریت کنند. به عنوان مثال، یک سیستم گرمایشی می‌تواند با سیستم تهویه مطبوع یا حتی سیستم‌های روشنایی ارتباط برقرار کرده و به طور خودکار تنظیمات مصرف انرژی را بر اساس نیازهای محیطی تغییر دهد. (Khan et al., 2025: 2069) در نهایت، آموزش و آگاهی ساکنان ساختمان‌های هوشمند نیز در بهینه‌سازی مصرف انرژی نقش مهمی ایفا می‌کند. اطلاع‌رسانی به ساکنان در مورد نحوه عملکرد سیستم‌های هوشمند، نحوه استفاده صحیح از آن‌ها و تأثیرات مختلف مصرف انرژی بر محیط زیست می‌تواند به تغییر رفتار مصرف‌کنندگان و بهینه‌سازی مصرف انرژی منجر شود. این رویکرد آموزشی، علاوه بر بهبود کیفیت زندگی در ساختمان‌های هوشمند، موجب صرفه‌جویی بیشتر در مصرف انرژی و کاهش اثرات منفی زیست‌محیطی خواهد شد. (Ebeed et al., 2025:41)

تأثیر کاهش مصرف انرژی و منابع بر کاهش اثرات زیست‌محیطی

کاهش مصرف انرژی و منابع به عنوان یک استراتژی کلیدی برای کاهش اثرات زیست‌محیطی مطرح است. در این راستا، می‌توان به کاهش آلودگی‌های هوا، آب و خاک، حفظ منابع طبیعی و مقابله با تغییرات اقلیمی اشاره کرد. این اقدام نه تنها به کاهش فشار بر محیط زیست کمک می‌کند، بلکه به بهبود کیفیت زندگی انسان‌ها نیز می‌انجامد. در ادامه به بررسی تأثیرات این کاهش مصرف در جنبه‌های مختلف زیست‌محیطی خواهیم پرداخت (Del Serrone et al., 2025:226).

۱. کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای

یکی از بزرگ‌ترین چالش‌های زیست‌محیطی در جهان، تغییرات اقلیمی ناشی از انتشار گازهای گلخانه‌ای است. مصرف انرژی به‌ویژه انرژی‌های فسیلی مانند نفت و گاز طبیعی، نقش عمده‌ای در تولید دی‌اکسید کربن (CO₂) و سایر گازهای گلخانه‌ای دارد. با کاهش مصرف این منابع انرژی و جایگزینی آن با انرژی‌های تجدیدپذیر نظیر خورشیدی، بادی و هیدروالکتریک، می‌توان به طور قابل توجهی میزان گازهای گلخانه‌ای را کاهش داد و از شدت تغییرات اقلیمی جلوگیری کرد (Rojacz et al., 2025:210).

۲. کاهش آلودگی هوا

محرك اصلی آلودگی هوا ناشی از سوخت‌های فسیلی است که در فرآیندهای تولید انرژی استفاده می‌شوند. مصرف زیاد سوخت‌های فسیلی باعث انتشار مواد آلاینده‌ای مانند دی‌اکسید نیتروژن، ذرات معلق و سولفور می‌شود که به شدت بر سلامت انسان‌ها و اکوسیستم‌ها تأثیر می‌گذارد. کاهش مصرف این منابع و انتقال به انرژی‌های پاک، می‌تواند آلودگی هوا را به میزان چشمگیری کاهش دهد و به بهبود کیفیت زندگی در جوامع شهری کمک کند (Gayen et al., 2024:5287).

۳. صرفه جویی در منابع طبیعی

مصرف بیش از حد منابع طبیعی مانند نفت، گاز و آب، باعث تخریب اکوسیستم‌ها و کاهش ذخایر طبیعی می‌شود. این امر منجر به کاهش تنوع زیستی، نابودی زیستگاه‌های طبیعی و بحران‌های آب و غذا می‌شود. با کاهش مصرف این منابع و توجه به بهره‌برداری پایدار، می‌توان از تخریب منابع جلوگیری کرده و امکان استفاده از آن‌ها برای نسل‌های آینده را فراهم کرد. (Bashir et al., 2025:137)

۴. کاهش فشار بر منابع آب

یکی از اثرات منفی مصرف بی‌رویه انرژی و منابع، فشار بر منابع آبی است. تولید انرژی به‌ویژه در نیروگاه‌های حرارتی و صنایع، نیازمند مقادیر زیادی آب است. با کاهش مصرف انرژی و استفاده از منابع تجدیدپذیر، می‌توان میزان مصرف آب را کاهش داد و به حفظ منابع آبی در مناطق خشک و نیمه‌خشک کمک کرد (Bashir et al., 2025:138).

۵. کاهش تولید پسماند

کاهش مصرف منابع به طور طبیعی منجر به کاهش تولید پسماند می‌شود. بسیاری از فرآیندهای تولید انرژی و صنایع وابسته به آن باعث تولید مقادیر زیادی پسماندهای خطرناک و غیرقابل تجزیه می‌شوند. با کاهش مصرف انرژی و منابع، می‌توان از تولید این پسماندها کاست و فشار بر سیستم‌های دفع زباله و بازیافت را کاهش داد (Liu et al., 2025: 344).

۶. بهبود کیفیت خاک و کاهش تخریب اراضی

تولید انرژی و استخراج منابع طبیعی می‌تواند منجر به تخریب خاک، فرسایش و از دست دادن حاصلخیزی زمین‌ها شود. به‌ویژه استخراج معادن و استفاده از زمین برای فعالیت‌های صنعتی و کشاورزی منجر به کاهش کیفیت خاک و نابودی اکوسیستم‌های کشاورزی می‌شود. کاهش مصرف منابع و بهبود بهره‌وری زمین می‌تواند به حفظ سلامت خاک و کاهش تخریب اراضی کمک کند (Gayen et al., 2024:5288).

۷. تأثیرات اجتماعی و اقتصادی

کاهش مصرف انرژی و منابع به‌طور غیرمستقیم می‌تواند به بهبود شرایط اجتماعی و اقتصادی کمک کند. با کاهش هزینه‌های انرژی، مردم می‌توانند پول بیشتری صرف بهبود شرایط زندگی خود کنند. همچنین، با استفاده از منابع پایدار و تجدیدپذیر، فرصت‌های شغلی جدیدی در صنایع سبز و فناوری‌های پاک ایجاد می‌شود که می‌تواند به رشد اقتصادی بدون آسیب به محیط زیست منجر شود (Gayen et al., 2024:5288).

در نهایت، کاهش مصرف انرژی و منابع نه تنها به نفع محیط زیست است، بلکه می‌تواند به رشد پایدار اقتصادی و اجتماعی کمک کند. این فرآیند نیازمند همکاری بین دولت‌ها، صنایع و جوامع محلی است تا به یک آینده پایدارتر و کم‌ضررتر برای کره زمین دست یابیم (Del Serrone et al., 2025:227).

اهمیت یکپارچه‌سازی فناوری‌های هوشمند در ساختمان‌ها

یکپارچه‌سازی فناوری‌های هوشمند در ساختمان‌ها به‌عنوان یکی از مهم‌ترین جنبه‌های مدرن‌سازی زیرساخت‌های شهری در دهه‌های اخیر شناخته می‌شود. این فرآیند نه تنها به بهبود عملکرد سیستم‌های مختلف در ساختمان‌ها کمک می‌کند بلکه با افزایش کارایی و کاهش هزینه‌ها، مزایای اقتصادی زیادی را برای مالکان و کاربران فراهم می‌آورد. در این زمینه، استفاده از اینترنت اشیا (IoT)، سیستم‌های مدیریت هوشمند ساختمان (BMS) و سایر فناوری‌های نوین به ساختمان‌ها اجازه می‌دهد تا به طور خودکار و بهینه با شرایط محیطی و نیازهای کاربران تطابق یابند (Liu et al., 2025: 348). یکی از جنبه‌های اصلی اهمیت یکپارچه‌سازی فناوری‌های هوشمند در ساختمان‌ها، بهبود بهره‌وری انرژی است. ساختمان‌های هوشمند قادرند با استفاده از حسگرها و داده‌های موجود، مصرف انرژی را به طور مؤثری مدیریت کنند. به‌عنوان مثال، سیستم‌های گرمایشی، سرمایشی و روشنایی می‌توانند به طور خودکار با توجه به شرایط محیطی و حضور افراد در فضا تنظیم شوند. این امر منجر به کاهش مصرف انرژی، کاهش هزینه‌های عملیاتی و بهبود اثرات زیست‌محیطی می‌شود. (ترتیبیان و همکاران، ۱۴۰۰: ۸۸)

در کنار بهره‌وری انرژی، افزایش ایمنی و امنیت یکی دیگر از مزایای برجسته یکپارچه‌سازی فناوری‌های هوشمند در ساختمان‌ها است. سیستم‌های نظارتی هوشمند می‌توانند به طور مداوم فعالیت‌های مشکوک را شناسایی کرده و از وقوع حوادث ناگوار جلوگیری کنند. علاوه بر این، قابلیت کنترل از راه دور و دسترسی به سیستم‌های ایمنی مانند درب‌ها، پنجره‌ها و دوربین‌های امنیتی باعث می‌شود که ساکنان ساختمان احساس راحتی و امنیت بیشتری داشته باشند. (حکاک زاده و همکاران، ۱۴۰۱: ۳۹۹)

همچنین، این فناوری‌ها می‌توانند در بهبود کیفیت زندگی ساکنان ساختمان‌ها نقش چشمگیری داشته باشند. با استفاده از سیستم‌های هوشمند، ساکنان می‌توانند به راحتی دما، رطوبت، نور و سایر عوامل محیطی را طبق ترجیحات خود تنظیم کنند. این کنترل شخصی‌سازی شده منجر به ایجاد فضایی راحت‌تر و سازگارتر با نیازهای فردی می‌شود. علاوه بر این، سیستم‌های هوشمند می‌توانند به تسهیل روند کارها و فعالیت‌های روزانه کمک کنند، مانند کنترل دستگاه‌های الکترونیکی یا مدیریت مواد غذایی (Khan et al., 2025: 2071).

از دیگر مزایای یکپارچه‌سازی فناوری‌های هوشمند در ساختمان‌ها، افزایش ارزش ملک و جذابیت آن برای خریداران و مستأجران است. ساختمان‌های مجهز به فناوری‌های نوین، به‌عنوان ساختمان‌هایی با کارایی بالا، امنیت بیشتر و راحتی بیشتر شناخته می‌شوند و این امر می‌تواند بر قیمت ملک تأثیر مثبت بگذارد. به همین دلیل، سرمایه‌گذاران و توسعه‌دهندگان املاک به طور فزاینده‌ای به این نوع ساختمان‌ها توجه می‌کنند. (اکبری و همکاران، ۱۴۰۰: ۲۶)

در سطح اجتماعی، فناوری‌های هوشمند می‌توانند به تسهیل زندگی سالم‌تر و بهتر کمک کنند. سیستم‌های هوشمند می‌توانند به بهبود کیفیت هوای داخلی و نظارت بر سطح آلودگی کمک کرده و در عین حال اطلاعات بهداشتی را برای ساکنان فراهم کنند. این امکانات می‌تواند به ویژه برای افراد مسن یا کسانی که نیاز به مراقبت‌های ویژه دارند، مفید باشد. به علاوه، این سیستم‌ها می‌توانند به ساکنان یادآوری کنند که داروهای خود را مصرف کنند یا فعالیت‌های فیزیکی را انجام دهند. (صالحی بالادهی و همکاران، ۱۴۰۲: ۲۱)

یکپارچه‌سازی فناوری‌های هوشمند در ساختمان‌ها به طور مستقیم بر پایداری و آینده‌نگری این ساختمان‌ها تأثیرگذار است. با توجه به رشد روزافزون جمعیت و نیاز به منابع بیشتر، ساختمان‌های هوشمند می‌توانند به‌عنوان یک راه‌حل مؤثر برای مدیریت منابع طبیعی و کاهش اثرات منفی بر محیط زیست عمل کنند. این فناوری‌ها با بهینه‌سازی مصرف منابع و کاهش ضایعات، به ساخت ساختمان‌های پایدارتر کمک می‌کنند که نه تنها از نظر اقتصادی سودآورند، بلکه به حفاظت از محیط زیست نیز کمک می‌کنند. (الماسی و همکاران، ۱۴۰۳: ۱۹۰) به طور کلی، یکپارچه‌سازی فناوری‌های هوشمند در ساختمان‌ها نه تنها به بهبود کیفیت زندگی و کارایی انرژی کمک می‌کند، بلکه باعث افزایش امنیت، راحتی و پایداری می‌شود. این تحولات، نه تنها در راستای بهبود تجربه کاربری، بلکه در راستای ایجاد شهری پایدارتر و بهینه‌تر نیز می‌باشد. (Liu et al., 2025: 348)

مقایسه ساختمان‌های هوشمند و سنتی از نظر اثرات زیست‌محیطی

ساختمان‌ها به‌عنوان یکی از بزرگ‌ترین مصرف‌کنندگان انرژی در سطح جهان شناخته می‌شوند. در این راستا، توجه به اثرات زیست‌محیطی ساختمان‌ها در طراحی و بهره‌برداری از آنها اهمیت ویژه‌ای دارد. ساختمان‌های هوشمند و سنتی از جنبه‌های مختلفی از جمله مصرف انرژی، استفاده از منابع طبیعی و مدیریت پسماند، تفاوت‌های بارزی دارند که می‌تواند تأثیرات قابل‌توجهی بر محیط‌زیست داشته باشد (Chong et al., 2025:29).

مصرف انرژی و کارایی انرژی

یکی از مهم‌ترین تفاوت‌های بین ساختمان‌های هوشمند و سنتی، مدیریت مصرف انرژی است. ساختمان‌های هوشمند به‌وسیله سیستم‌های خودکار و هوش مصنوعی قادر به تنظیم دما، نور و تهویه بر اساس نیازهای واقعی ساکنان و شرایط محیطی هستند. این ویژگی‌ها به‌طور قابل‌توجهی باعث کاهش مصرف انرژی می‌شود. بر خلاف این، ساختمان‌های سنتی معمولاً فاقد سیستم‌های پیشرفته مدیریت انرژی هستند و به‌صورت دستی تنظیم می‌شوند که منجر به هدررفت بیشتر انرژی و افزایش انتشار گازهای گلخانه‌ای می‌شود (Jane, 2025:112).

استفاده از منابع طبیعی و مواد ساختمانی

ساختمان‌های هوشمند معمولاً از مواد سازگار با محیط‌زیست و تکنولوژی‌های پیشرفته‌ای استفاده می‌کنند که به کاهش آسیب به منابع طبیعی کمک می‌کند. به‌طور مثال، این ساختمان‌ها ممکن است از پنل‌های خورشیدی، سیستم‌های بازیابی حرارت و تهویه هوای بهینه بهره ببرند. در مقابل، ساختمان‌های سنتی بیشتر به مصالح معمولی و منابع طبیعی متکی هستند و از لحاظ بهره‌وری منابع طبیعی بهینه نیستند. این مسئله می‌تواند منجر به استخراج بیشتر منابع طبیعی و ایجاد فشار بیشتر بر اکوسیستم‌ها شود (Mohson et al., 2021: 810).

مدیریت پسماند و بازیافت

ساختمان‌های هوشمند معمولاً دارای سیستم‌های مدیریت پسماند هوشمند هستند که به‌طور خودکار روند تفکیک و بازیافت زباله‌ها را تسهیل می‌کنند. این سیستم‌ها می‌توانند به کاهش میزان زباله‌های غیرقابل بازیافت و استفاده بهینه از منابع کمک کنند. از سوی دیگر، ساختمان‌های سنتی معمولاً فاقد چنین سیستم‌هایی هستند و ممکن است پسماندها به‌طور نادرست دفع شوند که این امر می‌تواند به آلودگی محیط‌زیست و کاهش کیفیت خاک و آب منجر شود (Lagarde et al., 2024:147).

مراقبت از کیفیت هوا و محیط داخلی

ساختمان‌های هوشمند قادر به کنترل کیفیت هوای داخلی به‌صورت خودکار هستند. سیستم‌های تهویه هوای پیشرفته به‌طور مداوم کیفیت هوا را اندازه‌گیری کرده و در صورت نیاز تهویه را به‌طور خودکار تنظیم می‌کنند تا شرایط بهینه برای ساکنان فراهم شود. در حالی که ساختمان‌های سنتی معمولاً از سیستم‌های تهویه هوای ساده‌تری استفاده می‌کنند که ممکن است در برخی شرایط منجر به کیفیت هوای نامناسب و آلودگی داخلی شود. (حکاک زاده و همکاران، ۱۴۰۱: ۳۹۸)

تأثیر بر اکوسیستم و بوم‌شناسی محلی

ساختمان‌های هوشمند در طراحی خود بیشتر به‌گونه‌ای طراحی می‌شوند که تأثیرات منفی بر اکوسیستم‌های محلی به حداقل برسد. برای مثال، این ساختمان‌ها می‌توانند از انرژی‌های تجدیدپذیر مانند انرژی خورشیدی یا باد بهره ببرند که اثرات منفی تولید انرژی از منابع فسیلی را کاهش می‌دهد. در حالی که ساختمان‌های سنتی عمدتاً به منابع انرژی غیرقابل تجدید

وابسته‌اند و این وابستگی می‌تواند منجر به آسیب به اکوسیستم‌های محلی و افزایش آلودگی محیط‌زیست شود (Mohson et al., 2021: 812).

طول عمر و پایداری

ساختمان‌های هوشمند طراحی شده‌اند تا به‌طور بهینه‌تر و طولانی‌تر از ساختمان‌های سنتی کار کنند. این ساختمان‌ها از فناوری‌های پیشرفته برای نگهداری، تعمیر و به‌روزرسانی استفاده می‌کنند که منجر به افزایش عمر مفید ساختمان می‌شود و به تبع آن، منابع کمتری برای ساخت و بازسازی آنها مصرف می‌شود. در مقابل، ساختمان‌های سنتی معمولاً به تعمیرات بیشتر و استفاده از مصالح جدید نیاز دارند که این امر ممکن است منجر به هدررفت منابع و افزایش اثرات زیست‌محیطی در طول زمان شود (Jane, 2025: 115).

در مجموع، ساختمان‌های هوشمند از نظر اثرات زیست‌محیطی به‌طور قابل‌توجهی نسبت به ساختمان‌های سنتی برتری دارند. آنها با استفاده از تکنولوژی‌های نوین و سیستم‌های خودکار می‌توانند مصرف انرژی را کاهش داده، منابع طبیعی را بهینه‌تر استفاده کنند، پسماندها را بهتر مدیریت کرده و تأثیرات زیست‌محیطی کمتری به همراه داشته باشند. از این رو، توسعه و گسترش ساختمان‌های هوشمند می‌تواند نقش مهمی در کاهش اثرات منفی محیط‌زیست و مقابله با چالش‌های تغییرات اقلیمی ایفا کند. (Borah, 2025: 399)

جدول ۲- مقایسه ساختمان‌های هوشمند و سنتی از نظر اثرات زیست‌محیطی

منبع: (Jane, 2025: 116)

معیار	ساختمان‌های هوشمند	ساختمان‌های سنتی
مصرف انرژی و کارایی انرژی	تنظیم خودکار دما، نور و تهویه بر اساس نیازهای ساکنان و شرایط محیطی، کاهش مصرف انرژی	تنظیم دستی و هدررفت بیشتر انرژی، افزایش انتشار گازهای گلخانه‌ای
استفاده از منابع طبیعی و مواد ساختمانی	استفاده از مواد سازگار با محیط‌زیست، پنل‌های خورشیدی و سیستم‌های بازیابی حرارت	وابستگی بیشتر به مصالح معمولی و منابع طبیعی، بهره‌وری کم از منابع طبیعی
مدیریت پسماند و بازیافت	سیستم‌های مدیریت پسماند هوشمند و تسهیل بازیافت	عدم وجود سیستم‌های هوشمند، دفع نادرست پسماندها و آلودگی محیط‌زیست
مراقبت از کیفیت هوا و محیط داخلی	کنترل خودکار کیفیت هوای داخلی با سیستم‌های تهویه پیشرفته	سیستم‌های تهویه ساده که ممکن است منجر به کیفیت هوای نامناسب شود
تأثیر بر اکوسیستم و بوم‌شناسی محلی	استفاده از انرژی‌های تجدیدپذیر (خورشیدی، بادی) و کاهش آسیب به اکوسیستم‌های محلی	وابستگی به منابع انرژی غیرقابل تجدید و آسیب به اکوسیستم‌ها و محیط‌زیست
طول عمر و پایداری	طراحی بهینه برای عمر طولانی، استفاده کمتر از منابع برای تعمیر و نگهداری	نیاز به تعمیرات بیشتر و استفاده از مصالح جدید که به هدررفت منابع منجر می‌شود

نتیجه‌گیری

هوشمندسازی به‌عنوان یکی از تکنولوژی‌های نوین در صنعت ساختمان، می‌تواند به‌طور چشمگیری در کاهش مصرف انرژی، بهینه‌سازی منابع طبیعی و ارتقاء کارایی محیطی ساختمان‌ها نقش مؤثری ایفا کند. با استفاده از سیستم‌های هوشمند، امکان کنترل و مدیریت دقیق منابع مختلف مانند انرژی، آب و هوا، بهبود می‌یابد که این امر منجر به کاهش اثرات منفی زیست‌محیطی می‌شود. اولین تأثیر عمده هوشمندسازی در ساختمان سبز، کاهش مصرف انرژی است. سیستم‌های هوشمند

نظیر روشنایی خودکار، تنظیم دما و تهویه مطبوع به‌طور خودکار مصرف انرژی را بر اساس نیاز واقعی محیط تنظیم می‌کنند. این امر نه تنها هزینه‌های انرژی را کاهش می‌دهد، بلکه موجب کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای و سایر آلاینده‌ها نیز می‌شود. با استفاده از این فناوری‌ها، ساختمان‌ها می‌توانند به سمت مصرف پایدارتر و کاهش وابستگی به منابع انرژی فسیلی حرکت کنند. از دیگر مزایای هوشمندسازی، بهینه‌سازی مصرف آب است. سیستم‌های هوشمند می‌توانند مصرف آب را در بخش‌های مختلف ساختمان مدیریت کرده و از هدررفت آن جلوگیری کنند. به‌طور مثال، سیستم‌های آبیاری هوشمند در فضای سبز ساختمان‌ها می‌توانند بر اساس شرایط اقلیمی و رطوبت خاک، میزان آبیاری را تنظیم کنند. همچنین، در بخش‌های داخلی، سیستم‌های مدیریت مصرف آب می‌توانند جریان آب را کنترل کرده و به مصرف بهینه آن کمک کنند.

در این راستا، هوشمندسازی به بهبود مدیریت منابع طبیعی کمک کرده و موجب کاهش ضایعات و بهره‌برداری بهینه از آن‌ها می‌شود. به‌ویژه در ساختمان‌های سبز، استفاده از مواد بازیافتی و پایدار، سیستم‌های مدیریت ضایعات و پسماندهای هوشمند، نقش مهمی در کاهش اثرات منفی بر محیط‌زیست ایفا می‌کند. این سیستم‌ها می‌توانند مواد دورریز را شناسایی کرده و آن‌ها را برای بازیافت یا دفع مناسب هدایت کنند. یکی دیگر از مزایای هوشمندسازی در ساختمان‌های سبز، کاهش آلودگی صوتی و بهبود کیفیت هوای داخلی است. با استفاده از سیستم‌های هوشمند تهویه، کنترل کیفیت هوا و سیستم‌های فیلتر هوای مدرن، می‌توان کیفیت هوای داخل ساختمان را بهبود بخشید و از آلودگی‌های ناشی از آلاینده‌های محیطی جلوگیری کرد. این امر نه تنها به سلامت ساکنان ساختمان کمک می‌کند بلکه تأثیرات منفی بر محیط‌زیست را نیز کاهش می‌دهد.

هوشمندسازی می‌تواند به کاهش اثرات زیست‌محیطی در بلندمدت کمک کند. با جمع‌آوری داده‌های دقیق و تحلیل آن‌ها، سیستم‌های هوشمند قادر به پیش‌بینی نیازهای آینده و تنظیمات بهینه برای حفظ منابع طبیعی و انرژی هستند. این رویکرد باعث می‌شود که ساختمان‌ها به یک مدل پایدار و خودکفا تبدیل شوند که از نظر اقتصادی و زیست‌محیطی بهینه‌تر عمل کنند. در مجموع، هوشمندسازی می‌تواند ابزاری قدرتمند در جهت کاهش اثرات زیست‌محیطی در ساختمان‌های سبز باشد. با استفاده از این تکنولوژی‌ها، ساختمان‌ها می‌توانند به‌طور مؤثری منابع خود را مدیریت کرده و اثرات منفی بر محیط‌زیست را کاهش دهند. این امر نه تنها به بهبود کیفیت زندگی ساکنان کمک می‌کند بلکه به حفظ منابع طبیعی و مقابله با بحران‌های زیست‌محیطی جهانی نیز می‌انجامد.

منابع

۱. اخلاقی، محمد مهدی؛ کامران کسمایی، حدیثه؛ (۱۳۹۹)، بررسی روش‌های صرفه‌جویی انرژی در ساختمان‌های مسکونی سبز، مجله: معماری شناسیزمستان ۱۳۹۹ - شماره ۱۷: ۶۷ - ۷۳.
۲. اکبری، شادی؛ حیدری، عباس؛ (۱۴۰۰)، بررسی استراتژی‌ها و رویکردهای موثر بر توسعه پایدار ساختمان‌های سبز شهری (مورد مطالعه: شهرداری تهران)، مجله: رویکردهای پژوهشی نوین در مدیریت و حسابداری پاییز ۱۴۰۰ - شماره ۷۴ (جلد اول)، ۱۸ - ۲۹.
۳. الماسی، سعید؛ بیکی، حسین؛ (۱۴۰۳)، پارامترهای موثر در بهینه‌سازی مصرف انرژی ساختمان، مجله: پژوهش‌های کاربردی در فنی و مهندسی تابستان ۱۴۰۳ - شماره ۳۵: ۱۸۵ - ۲۱۶.
۴. آقاجانی، حسین؛ رزاقیان، فرزانه؛ (۱۴۰۱)، تحلیل کاربری اقامتی شهر مشهد بر اساس شاخص‌های LEED در ساختمان‌های سبز، مجله: مطالعات شهر ایرانی اسلامپاییز ۱۴۰۱ - شماره ۴۹: ۸۱ - ۱۰۲.
۵. بهزادپور، محمد، کاشانی زاده، بهناز (۱۴۰۱) شناسایی و معرفی قوانین معماری سبز در ایران به‌منظور کاهش مصرف انرژی نمونه موردی ساختمان سبز بوشهر، فصلنامه برنامه ریزی و توسعه محیط شهری، ص ۶۴-۷۶

۶. پور کریدشکوهی، مریم، فیضی، محسن، ترکاشوند، عباس، خاکزند، مهدی (۱۳۹۹) بررسی تطبیق اثرات زیست محیطی یک ساختمان با اسکلت فلزی و بتنی در شهر تهران با رویکرد ارزیابی چرخه حیات در مرحله طراحی، معماری شهر پایدار، ص ۵۱-۶۵
۷. ترتیبیان، زهرا؛ حق پرست، مجید؛ (۱۴۰۰)، بهینه سازی مصرف انرژی اینترنت اشیاء با استفاده از سیستم فازی در ساختمان های هوشمند، مجله: نخبگان علوم و مهندسی بهمن ۱۴۰۰ - شماره ۳۳: ۸۰-۹۴.
۸. حاجی رزاقی، شهرزاد؛ عظمتی، سعید؛ طاهرسیما، سارا؛ (۱۴۰۲)، میزان اثربخشی کلکتورهای آب گرم و سلول های خورشیدی بر گرمایش و کاهش مصرف انرژی در مدارس ابتدایی ارومیه، مورد مطالعاتی: مدرسه ابتدایی دخترانه در شهر ارومیه، مجله: معماری و شهرسازی آرمانشهرتابستان ۱۴۰۲ - شماره ۴۳: ۱۵۳-۱۷۶.
۹. حبیب، فرح؛ ماجدی، حمید؛ خالدی، شاهین؛ (۱۴۰۲)، مفهوم کاربردی ساختمان هوشمند سبز (مطالعه موردی: منطقه یک شهر تهران)، مجله: توسعه پایدار محیط جغرافیایی پاییز و زمستان ۱۴۰۲ - شماره ۹: ۴۰-۵۳.
۱۰. حکاک زاده، محمد رضا؛ مرادزاده، مهدی؛ (۱۴۰۱)، بهینه سازی تولید و مصرف انرژی: راه های نوین تولید انرژی و صرفه جویی در مصرف انرژی به کمک بهینه سازی ساختمان ها، مجله: مطالعات علوم سیاسی، حقوق و فقه بهار ۱۴۰۱، دوره هشتم - شماره ۱: ۳۹۴-۴۱۲.
۱۱. دولتشاه، بهروز؛ نظری فرخی، ابراهیم؛ ابراهیمی، آوا؛ عرب کرمی، شهرزاد؛ (۱۴۰۲)، بهبود مصرف انرژی در ساختمان های هوشمند با استفاده از روش ترکیبی شبکه عصبی و الگوریتم تکاملی تفاضلی، همایش: همایش پژوهش های مدیریت و علوم انسانی در ایران مجموعه مقالات پانزدهمین همایش ملی پژوهش های مدیریت و علوم انسانی در ایران: ۳۹۵۲-۳۹۵۹.
۱۲. دهقانی، رحمت الله، آرم، فاطمه، ابراهیمی قلعه قاضی، حسن، آرم، نفس (۱۴۰۳) معماری سبز الگوی مناسب حفظ محیط زیست در پروژه های مدیریت شهری، فصلنامه پژوهش های کاربردی و فنی مهندسی، ص ۳۰۷-۳۱۳
۱۳. شجری، مژگان، امینی، محبوبه (۱۴۰۳) ارزیابی انطباق مجموعه فرهنگی رازی (ساختمان سبز) با استاندارد LEED و بهینه سازی و صرفه جویی در مصرف انرژی، فصلنامه معماری سبز، ص ۷۱-۸۲
۱۴. صالحی بالادهی، عالمه؛ مظفری قادیکلای، فاطمه؛ حسین پور بهنمیری، صابر؛ (۱۴۰۲)، شیشه های هوشمند گامی نو در علوم مهندسی در جهت توسعه بهینه سازی مصرف انرژی ساختمان، مجله: پژوهش های نوین علوم مهندسی تابستان ۱۴۰۲ - شماره ۱۹: ۴۳-۲۶.
۱۵. فتاحی، فریبا؛ بیگی، اکرم؛ (۱۴۰۱)، بهبود مدیریت انرژی و آسایش در ساختمان های هوشمند، مجله: پژوهشنامه اقتصاد انرژی ایران زمستان ۱۴۰۱ - شماره ۴۵: ۷۲-۹۳.
۱۶. کاشانی زاده، بهناز؛ بهزادپور، محمد؛ (۱۴۰۱)، شناسایی و معرفی قوانین معماری سبز در ایران به منظور کاهش مصرف انرژی نمونه موردی: ساختمان سبز بوشهر، مجله: برنامه ریزی و توسعه محیط شهری تابستان ۱۴۰۱ - شماره ۶: ۶۴-۷۵.
۱۷. ماهان، امین، خرم رویی، ریحانه (۱۴۰۲) سامانه ارزیابی کازبی، رویکردی تکنیکی در رازش گذاری پایداری زیست محیطی ساختمان های سبز در ژاپن، فصل نامه علمی انرژی های تجدیدپذیر ونو، ص ۱۷۷-۱۸۷
18. Fakhabi, M. M., Hamidian, S. M., & Aliehyaei, M. (2024). Exploring the role of the Internet of Things in green buildings. *Energy Science & Engineering*, 12(9), 3779-3822. <https://doi.org/10.1002/ese3.1840>
19. Ade, R; Rehm, M; (2020). The unwritten history of green building rating tools: A personal view from some of the 'founding fathers'. *Building Research & Information*, 48(1), 1-17.

20. Akbas, D; Gurbuz, T; Alptekin, G; (2024, November). Smart Street Lighting Systems for Sustainable Smart Cities: A Conceptual Framework. In 2024 IEEE Sustainable Smart Lighting World Conference & Expo (LS24): 1-4
21. Alijoyo, F. A; (2024). AI-powered deep learning for sustainable industry 4.0 and internet of things: Enhancing energy management in smart buildings. Alexandria Engineering Journal, 104, 409-422.
22. Almeida, M; Ascione, F; Iaccheo, A; Iovane, T; Mastellone, M; (2025). Towards the Necessary Decarbonization of Historic Buildings: A Review 107-125.
23. Bashir, M. F; Pata, U. K; Shahzad, L; (2025). Linking climate change, energy transition and renewable energy investments to combat energy security risks: Evidence from top energy consuming economies. Energy, 314, 134-148.
24. Bhutta, F. M. (2017, November). Application of smart energy technologies in building sector—future prospects. In 2017 International Conference on Energy Conservation and Efficiency (ICECE) (pp. 7-10). IEEE. <https://doi.org/10.1109/ECE.2017.8248820>
25. Billanes, J.; Ma, Z.; Jørgensen, B. N; (2025). Data-Driven Technologies for Energy Optimization in Smart Buildings: A Scoping Review. 122-145.
26. Borah, G; (2025). Emerging Trends in Smart Green Building Technologies. Heat Transfer Enhancement Techniques: Thermal Performance, Optimization and Applications, 391-415.
27. Chen, L; Hu, Y; Wang, R; Li, X; Chen, Z; Hua, J; Yap, P. S; (2024). Green building practices to integrate renewable energy in the construction sector: a review. Environmental Chemistry Letters, 22(2), 751-784.
28. Chong, X; Li, L; Zhang, C; Zhao, Y; Kraft, M; Wang, X; (2025). AI-Enhanced Multi-Scale Smart Systems for Decarbonization in the Chemical Industry: A Pathway to Sustainable and Efficient Production. Technology Review for Carbon Neutrality. 25-48.
29. Çiner, F., & Doğan-Sağlamtimur, N. (2019, November). Environmental and sustainable aspects of green building: A review. In IOP Conference Series: Materials Science and Engineering (Vol. 706, No. 1, p. 012001). IOP Publishing. <https://doi.org/10.1088/1757-899X/706/1/012001>
30. Debrah, C; Chan, A. P. C; Darko, A; (2022). Green finance gap in green buildings: A scoping review and future research needs. Building and Environment, 207-218.
31. Del Serrone, G; Riccio, G; Moretti, L; (2025). Cradle-to-cradle life cycle assessment of railway prestressed concrete sleepers: A state-of-the-art review and strategies for reducing environmental impacts 214-245
32. Ebeed, M; Hassan, S; Kamel, S; Nasrat, L; Mohamed, A. W; Youssef, A. R; (2025). Smart building energy management with renewables and storage systems using a modified weighted mean of vectors algorithm. 33-54
33. Elkerdany, M.; Safwat, I.; Youssef, A; Elkhatib, M; (2025). An intelligent energy management system for enhanced performance in electric UAVs. Aerospace Systems, 1-16.
34. Gayen, D; Chatterjee, R; Roy, S; (2024). A review on environmental impacts of renewable energy for sustainable development. International Journal of Environmental Science and Technology, 21(5), 5285-5310.
35. Iwuanyanwu, O., Gil-Ozoudeh, I., Okwandu, A. C., & Ike, C. S. (2024). The role of green building materials in sustainable architecture: Innovations, challenges, and future trends. International Journal of Applied Research in Social Sciences, 6(8), 1935-1950. <https://doi.org/10.51594/ijarss.v6i8.1476>

36. Jane, K; (2025). Comparative Analysis of Traditional vs. Green Building Designs in Mumbai.110-135.
37. Jeumpa, K., & Harahap, R. (2024). Application of Green Building Aspects in Community Residential Houses. EMARA: Indonesian Journal of Architecture, 9(1), 30-37. <https://doi.org/10.29080/eija.v9i1.1591>
38. Karamoozian, M., & Zhang, H. (2025). Obstacles to green building accreditation during operating phases: identifying Challenges and solutions for sustainable development. Journal of Asian Architecture and Building Engineering, 24(1), 350-366.
39. Kauskale, L., Geipele, I., Zeltins, N., & Lecis, I. (2017). Environmental and energy aspects of construction industry and green buildings. Latvian Journal of Physics and Technical Sciences, 54(2), 24-33. <https://doi.org/10.1515/lpts-2017-0010>
40. Khan, M. A; Farooq, M. S;Saleem, M; Shahzad, T; Ahmad, M;Abbas, S; Abu-Mahfouz, A. M; (2025). Smart buildings: Federated learning-driven secure, transparent and smart energy management system using XAI. Energy Reports, 13, 2066-2081.
41. Lagarde, C; Robillart, M; Bigaud, D; Pannier, M. L; (2024). Assessing and comparing the environmental impact of smart residential buildings: A life cycle approach with uncertainty analysis. Journal of Cleaner Production, 467, 143-168.
42. Liu, H; Du, Z; Xue, T; Jiang, T; (2025). Enhancing smart building performance with waste heat recovery: Supply-side management, demand reduction, and peak shaving via advanced control systems. Energy and Buildings, 327-355.
43. Mannan, M; Al-Ghamdi, S. G; (2021). Indoor air quality in buildings: a comprehensive review on the factors influencing air pollution in residential and commercial structure. International journal of environmental research and public health, 18-35.
44. Martinez, T., Duarte, M., & Garcia-Luna, A. C. (2021). How using smart buildings technology can improve indoor environmental quality in educational buildings. In SHS Web of Conferences (Vol. 102, p. 03003). EDP Sciences. <https://doi.org/10.1051/shsconf/202110203003>
45. Mathumitha, R; Rathika, P; Manimala, K; (2024). Intelligent deep learning techniques for energy consumption forecasting in smart buildings: a review. Artificial Intelligence Review, 57(2), 35-45
46. Mi, Z. (2024). Sustainable architectural practices: Integrating green design, smart technologies, and ultra-low energy concepts. Theoretical and Natural Science, 48, 62-67. <https://doi.org/10.54254/2753-8818/48/20240203>
47. Mohson, Z. H; Ismael, Z. A; Shalal, S. S; (2021). Comparison between smart and traditional building materials to achieve sustainability. Periodicals of Engineering and Natural Sciences (PEN), 9(3), 808-822.
48. Ordouei, M; Broumandnia, A; Banirostam, T; Gilani, A; (2024). Optimization of energy consumption in smart city using reinforcement learning algorithm. International Journal of Nonlinear Analysis and Applications, 15(1), 277-290.
49. Parekh, R; (2024). Automating the design process for smart building technologies. World Journal of Advanced Research and Reviews, 23-38
50. Rabhi, S; Djaaboube, H; Bouderbala, Y. I;Dadda, K.;Bencherif, H.; El Mohri, A; Beldjebli, O; (2025). Rethinking Solar Energy: Innovations in Eco-friendly Materials. In Breaking Boundaries: Pioneering Sustainable Solutions Through Materials and Technology:3-15

51. Rojacz, H;Maierhofer, D; Piringer, G; (2025). Environmental impact evaluation of wear protection materials. *Wear*, 560, 205-225.
52. Sarireh, M. (2021). Review of green buildings spreading and levels. *Advances in Science and Technology. Research Journal*, 15(4), 81-92.
53. Singla, S; Sodhi, N; (2025). Analyzing the Data Privacy and Security of Smart Home Automation Frameworks Utilized in the Progressive Society. In *Future of Digital Technology and AI in Social Sectors*: 261-296.
54. Umoh, A. A., Nwasike, C. N., Tula, O. A., Adekoya, O. O., & Gidiagba, J. O. (2024). A Review of Smart Green Building Technologies: Investigating The Integration And Impact of AI And IOT in Sustainable Building Designs. *Computer Science & IT Research Journal*, 5(1), 141-165. <https://doi.org/10.51594/csitrj.v5i1.715>
55. Xie, X., Ramakrishna, S., & Manganelli, M. (2022). Smart building technologies in response to COVID-19. *Energies*, 15(15), 5488. <https://doi.org/10.3390/en15155488>
56. Zhang, Y; He, Z; (2024). Brief Analysis of the Development and Application of Green Building Design and Green Energy-Saving Buildings. *Iranian Journal of Science and Technology, Transactions of Civil Engineering*, 48(2), 1131-1141.
57. Zhu, Y. (2024). Application of Smart Energy Management Systems in Green Buildings. *Highlights in Science, Engineering and Technology*, 95, 16-22. <https://doi.org/10.54097/35qmr186>

The connection between smart buildings and reducing greenhouse gas emissions

Mahmoud Asroshi

Master of Civil Engineering, Construction Management, Faculty of Civil Engineering, Maziar Non-Profit Institute, Royan, Iran

Abstract

In today's world, where we are facing serious challenges such as climate change and excessive urbanization, paying attention to building smartness as a key solution to reduce greenhouse gas emissions and optimize resource consumption has become very important. This research, with a review approach and analysis of existing resources, examines the effects of smartness in reducing the environmental impacts caused by greenhouse gases. The main objective of this study is to identify and analyze the effective factors and appropriate strategies in implementing smart technologies in buildings in order to reduce the emission of carbon dioxide and other greenhouse gases. The results of this research show that the use of smart energy management systems, connected sensors, and data analysis can be significantly effective in reducing energy consumption and reducing harmful gas emissions. Also, the use of renewable energy sources and optimization of construction processes have been identified as key factors in reducing negative environmental impacts. This research presents practical solutions based on modern technologies for implementing smart and sustainable buildings and analyzes the positive effects of these approaches on reducing greenhouse gases and preserving the environment. Finally, it emphasizes the importance of efficient management in construction and monitoring the performance of buildings, which can lead to improving environmental conditions and improving the quality of life of residents.

Keywords: Smart buildings, greenhouse gas reduction, energy management, renewable energy, resource optimization.
