بررسی و ارزیابی عملکرد ساختمان‌های سبز و نقش آن در مدیریت هوشمند مصرف انرژی

علیرضا پاک فطرت دانشجوی دکترای جغرافیا و برنامه ریزی شهری، شهردار شیراز
محمدرضا نجیمی مدیر کل کنترل و نظارت ساختمان شهرداری شیراز، دانشجوی دکتری سازه دانشگاه آزاد اسلامی واحد تهران جنوب
مهدی اسلامی* کارشناس ارشد مهندسی مکانیک و کارشناس تأسیسات معاونت شهرسازی و معماری شهرداری شیراز

چکیده

امروزه افزایش روزافزون جمعیت شهرها و محدودیت‌های ناشی از مصرف سوخت‌های فسیلی و همچنین، مشکلات زیست‌محیطی، ازقبیل گرمایش زمین و تغییرات آب‌وهوایی و تخریب لایه‌ی اوزون به‌علت استفاده از سیستم‌های گرمایش سنتی که به‌صورت مستقیم یا غیرمستقیم از سوخت‌های فسیلی استفاده می‌کنند، سبب پدیدآمدن مشکلات زیست‌محیطی گسترده و به‌طور کلی، تغییرات اکوسیستمی شده است؛ علاوه‌بر این، باتوجه‌به این نکته که بیشترین میزان مصرف انرژی در جهان، در بخش ساختمان است، استفاده از فناوری‌های نوین، منجر به افزایش بازده و جلوگیری از هدررفت انرژی، به‌ویژه در بخش ساختمان می‌شود؛ ازاین‌رو، توجه هرچه بیشتر به استفاده از این تکنولوژی‌ها و تأثیرات آن‌ها در کاهش و بهینه‌سازی مصرف انرژی در ساختمان‌ها، باتوجه‌به مبحث۱۹ مقررات ملی ساختمان الزامی است؛ در همین راستا پژوهش‌های جدید، رویکرد تازه‌ای را درباره‌ی ساختمان‌ها ارائه داده‌اند که باعنوان «ساختمان‌های سبز» شناخته می‌شود و در تعریفی ساده به ساختمان‌هایی اطلاق می‌شود که میزان مصرف انرژی در آن‌ها با بهره‌گیری از تکنولوژی‌های گوناگون درمقایسه‌با ساختمان‌های معمول، کاهش بسیاری یافته و انرژی اولیه‌ی آن‌ها نیز از منابع تجدیدپذیر و پاک تأمین می‌شود. در پژوهش حاضر، باتوجه‌به اهمیت مباحث انرژی و محیطی و اکولوژیکی در رشد و توسعه، به بررسی ساختمان‌های سبز و تکنولوژی‌های مؤثر بر کاهش و مدیریت مصرف انرژی در این ساختمان‌ها پرداخته شده است و این نتیجه حاصل شد که استفاده از این تکنولوژی‌ها در بلندمدت بسیار مقرون‌به‌صرفه است و نقش مهمی در کاهش و بهینه‌سازی مصرف انرژی ایفا می‌کند.

واژگان کلیدی: سوخت فسیلی، ساختمان سبز، تغییرات اکوسیستمی، انرژی تجدیدپذیر،کاهش مصرف انرژی

---

* نویسنده‌ی مسئول: meslamii890@gmail.com

۱. مقدمه

در عصر حاضر، کمبود سوخت‌های فسیلی و آلودگی‌های ناشی از مصرف این سوخت‌ها، سبب روی‌آوردن انسان به سایر منابع انرژی، ازجمله انرژی تجدیدپذیر برای تـأمین نیازهـای آینـده شـده اسـت؛ ازایـن‌رو به‌منظور کاهش و بهینه‌سازی مصرف انرژی، به‌ویژه در بخش ساختمان، استفاده از انرژی‌هـای پایـدار و دوست‌دار محیط‌زیست بسیار مدنظر است. طبق آمار منتشرشده‌ی سازمان توانیر، حدود ۴۰درصـد از کـل انرژی، در ساختمان‌ها مصرف می‌شود و در این میان، بخش مسـکونی بـا ۳۳درصـد در رتبـه‌ی نخسـت است. باتوجه‌به فاصله‌ی حداقل پنج‌برابری شـاخص مصـرف انـرژی در ایـران درمقایسـه‌با اروپـا در هـر مترمربع از ساختمان و نیز فرصت‌ها و پتانسیل‌های فراوانی که برای صـرفه‌جویی در ایـن بخـش وجـود دارد، توجه و تحقیق در این زمینه، از پارامترهای مهم توسعه و دسـتیابی بـه شـهر هوشـمند، به‌مثابـه‌ی شهری با ترکیب تکنولوژی‌های مختلف و مدیریت آگاهانه است تا براسـاس آن، بتـوان رفـاه و آسـایش جامعه را فراهم ساخت.

تاکنون تحقیقات بسیاری درزمینه‌ی ساختمان‌های سبز و تأثیر پارامترهای مختلف بر عملکرد مصرف انرژی در این ساختمان‌ها صورت گرفته است. موهاریل[1] و همکاران در سال ۲۰۰۹ به بررسی و مطالعه‌ی تولید انرژی الکتریسیته براساس سیستم‌های فتوولتاییک و انرژی باد و تأثیرات آن‌ها بـر زنـدگی شـهری پرداختند و به این نتیجه دست یافتند کـه اسـتفاده از منـابع انرژی‌هـای تجدیدپـذیر، ماننـد سیسـتم‌های فتوولتاییک و انرژی باد و ادغام این‌گونه منابع با یکـدیگر، عامـل بسـیار مهمـی در بهبـود اسـتانداردهای زندگی اجتماعی به‌شمار می‌رود و برای تولید انرژی‌های پایدار در سـاختار شـبکه‌های هوشـمند در آینـده بسیار مقرون‌به‌صرفه خواهد بود.

کایگوسزو[2] و همکاران در سال ۲۰۱۳ پتانسـیل‌های یـک سـایت هوشـمند مبتنـی بـر انرژی‌هـای تجدیدپذیر را که با ترکیب و ادغام انرژی‌های بادی و خورشیدی فعالیت می‌کند و همچنین، تأثیر استفاده از این انرژی‌ها را بر شبکه‌ی تولید برق بررسی و مطالعه کردند و نشان دادنـد کـه بـا ادغـام انرژی‌هـای تجدیدپذیر در سایت هوشمند، علاوه‌بر کاهش شایان توجه مصرف انرژی، شاهد ثبـات ولتـاژ و افـزایش کیفیت توان برق مصرفی توزیع‌شده نیز خواهیم بود.

جادوت[3] و همکاران در سال ۲۰۱۴ بهره‌وری انرژی را ازطریـق تکنولـوژی پشـت‌بام سـبز براسـاس محاسبات حرارتی و شبیه‌سازی کامپیوتری مطالعه کردند و به این نتیجه رسیدند که فناوری پشت‌بام سبز عامل بسیار مفیدی برای کاهش مصرف انرژی در ساختمان‌ها و درنتیجه آسایش حرارتی است؛ همچنین سبب کاهش آسیب ساختمان در برابر باد و حفاظت از آن در شرایط آب‌وهوایی می‌شود.

ارشاد[4] و همکاران در سال ۲۰۱۵ عملکرد استفاده از سیستم‌های فتوولتاییـک و دیـوار ترومـپ را در ساختمان‌ها به‌منظور دستیابی بـه ساخت‌وسـاز پایـدار بررسـی کردنـد و ثابـت کردنـد کـه بـا اسـتفاده از

1. Moharil
2. Kaygusuz
3. Jadwet
4. Irshad

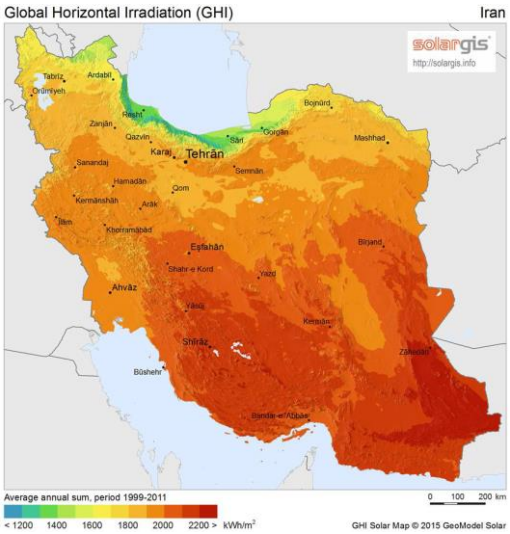
شیشه‌های دوجداره‌ی پرشده از گاز آرگون در سیستم PV-TW بیشترین کاهش مصرف انرژی و بار حرارتی در ساختمان‌ها حاصل می‌شود.

معرفت و کیان در سال ۱۳۸۸ درمورد استفاده از مواد تغییرفازدهنده در ساختمان و تأثیر آن بر کاهش مصرف انرژی پژوهش کردند و به این نتیجه دست یافتند که استفاده از مواد تغییرفازدهنده منجر به افزایش دمای ساختمان و حفظ دمای مطلوب در مدتی طولانی می‌شود؛ همچنین کاهش مصرف انرژی را تا ۱۹درصد در پی خواهد داشت.

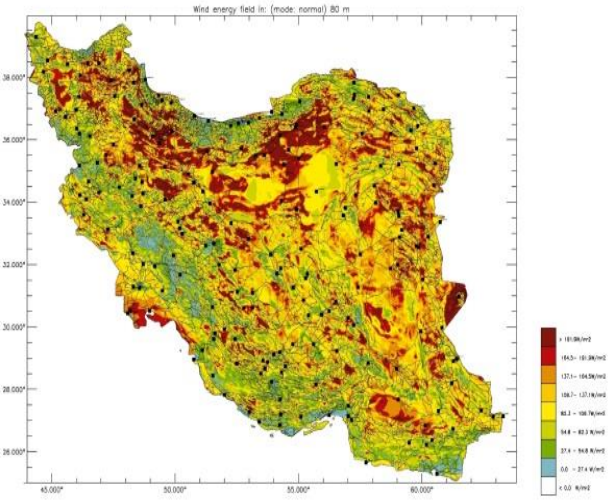
گرجی در سال ۱۳۸۸ استفاده از مصالح هوشمند و تأثیرات آن بر کاهش مصرف انرژی را در ساختمان‌ها بررسی کرد و نشان داد مصالح هوشمند با قابلیت بسیار، در شرایط اقلیمی با جذب مستقیم و غیرمستقیم انرژی موردنیاز از محیط پیرامون، سبب کاهش مصرف انرژی در ساختمان می‌شوند. در این مطالعه، به بررسی ساختمان‌هایی موسوم به ساختمان‌های سبز و تکنولوژی‌های استفاده‌شده در این ساختمان‌ها، به‌منظور کاهش مصرف انرژی و تأثیرات آن بر دستیابی به شهر هوشمند پرداخته شده است.

۲. موقعیت جغرافیایی ایران برای بهره‌گیری از انرژی‌های نو

ایران در مدار ۲۵تا۴۰درجه‌ی شمالی قرار گرفته و ازلحاظ جغرافیایی بر کمربند خورشیدی جهان واقع شده است. میزان تابش سالانه‌ی خورشید در ایران بین ۱۸۰۰تا۲۲۰۰کیلووات‌ساعت بر مترمربع تخمین زده شده است که بیشتر از متوسط جهانی است؛ ازاین‌رو ظرفیت بسیاری برای بهره‌گیری از انرژی تابشی خورشید برای تولید برق دارد. براساس اطلاعات منتشرشده از سازمان انرژی‌های نو ایران (سانا) اگر تنها یک‌درصد از مساحت کشور، انرژی تابشی خورشید را دریافت کند و راندمان سیستم‌های دریافت‌کننده‌ی انرژی نیز تنها ۱۰درصد باشد، روزانه ۹×۱۰^{۶} مگاوات‌ساعت انرژی از تابش خورشید دریافت می‌شود؛ همچنین براساس نقشه‌ی اطلس بادی کشور، در ایران ظرفیت‌هایی نیز برای استفاده از انرژی بادی به‌منظور تأمین انرژی لازم در بخش‌های مختلف فراهم است. به‌همین دلیل، استفاده از این منابع انرژی رایگان، پاک، دردسترس و دوست‌دار محیط‌زیست و به‌کاربردن آن‌ها در ساختمان‌ها باتوجه‌به شرایط اقلیمی و جغرافیایی هر شهر، به‌خوبی جانشین تأمین انرژی از سوخت‌های فسیلی می‌شود و در کاهش مصرف انرژی در ساختمان نقش عمده‌ای ایفا می‌کند. در شکل‌های ۱ و ۲ به‌ترتیب نقشه‌ی تابش خورشیدی و پتانسیل بادی در ایران نشان داده شده است.



شکل۱: نقشه‌ی تابش خورشید در ایران



شکل۲: نقشه‌ی اطلس بادی در ایران

۳. تعریف ساختمان‌های سبز[1] و اهمیت آن در دستیابی به شهر هوشمند

از مباحث جدیدی که امروزه موردتوجه طراحان قرار گرفته و با سازگاری با محیطزیست و دستیابی به توسعه‌ی شهرها همسو است، طراحی برگرفته از مفاهیم توسعه‌ی پایدار است. هدف اصلی از طراحی این

1. Green House

ساختمان‌ها کاهش آسیب‌های محیطی و کاهش استفاده از سوخت‌های فسیلی و حفظ اقلیم برای نسل‌های حال و آینده است؛ به‌طور معمول، عملکرد ساختمان‌های سبز و هوشمند با میزان عملکرد زیست‌محیطی آن‌ها تعریف می‌شود و پارامترهای مهمی، همچون بهره‌وری انرژی در ساختمان و میزان عملکرد حرارتی و همچنین، بهره‌وری مواد و تکنولوژی‌های مورداستفاده در این ساختمان‌ها، به‌مثابه‌ی شاخص‌های عملکرد انرژی پایدار مدنظر است؛ درواقع در ساختمان‌های سبز، هدف اصلی، استفاده‌ی درست و بهینه از منابع انرژی و کاهش آسیب‌های ساختمان بر محیط‌زیست است؛ ازاین‌رو و باتوجه‌به مبحث۱۹ مقررات ملی ساختمان، شناخت و بررسی تکنولوژی‌های مؤثر در این ساختمان‌ها از الزامات صنعت ساختمان‌سازی و معماری به‌شمار می‌رود و نقش مهمی در کاهش مصرف انرژی و توسعه‌ی شهری ایفا می‌کند.

٤. سیستم‌های فتوولتاییک

در عصر حاضر، شناخت عوامل محیطی و کیفیت محیط‌های مصنوعی سبب تغییراتی درزمینه‌ی نیازهای ساختمان و طراحی آن‌ها درمقایسه‌با گذشته شده است. پیشرفت‌های جدید و استفاده از تکنولوژی‌های نوظهور، رویکردهای مختلفی را در اجرای سقف و نمای ساختمان‌ها ایجاد کرده است که استفاده از سامانه‌های فعال و غیرفعال خورشیدی در این زمینه بسیار شایان توجه است.

در شکل۳، استفاده از سیستم‌های فتوولتاییک یا PV[1] به‌منزله‌ی یکی از راه‌های بهره‌گیری از انرژی خورشیدی در ساختمان‌ها نشان داده شده است. در تعریفی ساده، به سیستم‌هایی که به‌صورت مستقیم و با استفاده از انرژی تابشی خورشید، برق تولید می‌کنند، سیستم‌های فتوولتاییک می‌گویند (Gilbert & Masters, ۲۰۰۴).

عملکرد این سیستم‌ها به این صورت است که الکترون‌های موجود در عنصرهایی با خاصیت نیمه‌رسانا مانند Si، فوتون‌هایی با انرژی کافی را جذب می‌کنند و باعث حرکت الکترون‌ها از لایه‌ی ظرفیت به لایه‌ی رسانایی می‌شوند، این الکترون‌ها از عنصر جدا شده، حفره ایجاد می‌کنند؛ سپس الکترون‌ها و حفره‌ها خلاف جهت یکدیگر به سمت میدان الکتریکی موجود در پیوند p-n می‌روند و به‌واسطه‌ی ناخالصی‌های ساختار کریستال‌ها از یکدیگر جدا می‌شوند و باعث ایجاد اختلاف پتانسیل و درنتیجه، تولید الکتریسیته می‌شوند.

استفاده از سیستم‌های فتوولتاییک به دلایلی همچون بی‌نیازی از سوخت‌های فسیلی برای تأمین انرژی، طول عمر مناسب، سهولت در بهره‌برداری، نصب و راه‌اندازی متناسب با نیاز مصرف‌کننده، نصب بر نما و سقف ساختمان و همچنین، ذخیره‌ی انرژی در باتری برای استفاده در سیستم‌های مجزا از شبکه بسیار شایان توجه است. افزایش هزینه‌های مرتبط با سرمایه‌گذاری اولیه در سیستم‌های فتوولتاییک، به‌ویژه در سیستم‌های متصل به شبکه، مهم‌ترین مانع توسعه و ترویج استفاده از این سیستم‌هاست و

1. Photovoltaic

توجه به توسعه‌ی زیرساختارها و حمایت‌ها و اعطای یارانه‌های دولتی، ازجمله فعالیت‌ها و راهکارهایی است که به توسعه و ترویج بهره‌گیری از این سیستم‌ها کمک خواهد کرد.

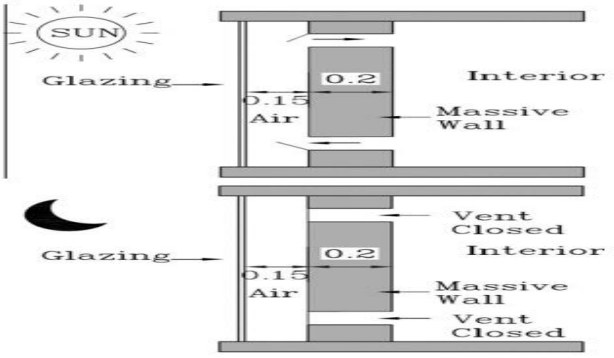
شکل۳: استفاده از تکنولوژی سیستم‌های فتوولتاییک در نمای بیرونی ساختمان‌ها

۵. دیوار ترومپ

یکی از سیستم‌های نوین گرمایش خورشیدی استفاده از تکنولوژی دیوار ترومپ[1] است. این تکنولوژی را نخستین‌بار ادوار مورس ارائه کرد و فیلیکس ترومپ و همکارانش در سال ۱۹۶۰ آن را توسعه دادند. تکنولوژی استفاده از دیوار ترومپ به‌منزله‌ی روش و تکنیکی سنتی همواره در معماری بومی استفاده شده است و نقشی اساسی در کاهش مصرف انرژی در ساختمان‌ها دارد.

پخش‌کردن انرژی در فضای داخلی دیوار ترومپ از نوع سیستم‌های جذب غیرمستقیم نور خورشید است. همان‌گونه که در شکل۴ نیز مشاهده می‌شود، دیوار ترومپ را می‌توان در دیوارهای معمول با استفاده از شیشه در جدار بیرونی و ایجاد فاصله‌ای حدوداً ۱۰سانتیمتری بین شیشه و دیوار به رنگ تیره ایجاد کرد. بر این اساس، دیوار ترومپ در هنگام روز، با دریافت انرژی تابشی خورشید، این انرژی را به هوای بین شیشه و دیوار منتقل می‌کند و بدین‌ترتیب باعث افزایش دمای آن می‌شود؛ سپس به‌مرور، پس از اتمام ساعات آفتابی، هوا کم‌کم با جابه‌جایی و دریافت انرژی از دیوار به فضای اتاق منتقل می‌شود و امکان استفاده از انرژی خورشید را در هنگام شب فراهم می‌آورد؛ درنهایت با کاهش مصرف انرژی، بخش شایان توجهی از گرمای ساختمان تأمین می‌شود. در شکل۵ استفاده از این تکنولوژی در ساختمان‌ها نشان داده شده است.

1. Tromp Wall



شکل٤: عملکرد دیوار ترومپ

شکل٥: استفاده از تکنولوژی دیوار ترومپ در ساختمان

٦. انرژی بادی

از دیگر انرژی‌های نو کـه می‌تـوان از آن در صـنعت ساختمان‌سـازی اسـتفاده کـرد، انـرژی بـاد اسـت؛ بدین‌صورت که با استفاده از توربین‌های بادی در مناطق مستعد، انرژی جنبشی باد را به انرژی مکـانیکی و سپس، به انرژی الکتریکی تبدیل می‌کنند. توربین‌های بـادی به‌صـورت معمـول بـرای تـأمین انـرژی الکتریسیته در مناطق مستعد و بادخیز به‌کار می‌رود و همان‌گونه که در شـکل۶ نیـز مشـاهده می‌شـود، امروزه در ساختمان‌های نسل جدید به‌مثابه‌ی روشی نو در معماری پایـدار بـه‌منظور تـأمین الکتریسـته و دستیابی به هدف رشد و توسعه‌ی شهر هوشمند به‌کار می‌رود.

به‌طور کلی ، عامل اصلی پیدایش باد، اختلاف دما و تفاوت در نحوه‌ی تابش انرژی خورشیدی است. به‌منظور استفاده از این تکنولوژی در ساختمان‌های سبز، باید قبل از طراحی مهندسان، اطلاعاتی درباره‌ی وضعیت آب‌وهوایی و اقلیمی مکان مدنظر به‌دست آورد؛ مثلاً، متوسط سرعت باد نباید کمتر از ۵/۵ متر بر ثانیه باشد؛ زیرا ممکن است توربین‌های بادی به‌خوبی عمل نکنند؛ همچنین ارتفاع قرارگیـری توربین‌هـا نیز عاملی بسیار مهم در سرعت‌گرفتن باد و تولید الکتریسیته‌ی بیشتر است.

توربین‌های بادی باید در نزدیکی مرکز سقف ساختمان نصب شوند. هنگام طراحی نیز باید توجه کرد که ساختمان‌ها حتماً مسیری برای گردش باد و عبور جریان هوا در اطراف داشته باشند؛ همچنین سقف ساختمان نیز حدود ۵۰درصد از اطراف بلندتر باشد. از دیگر نکاتی که باید هنگام استفاده از تکنولوژی توربین‌های بادی در ساختمان‌های سبز به آن توجه کرد این است که به‌منظور ازبین‌بردن رطوبت موجود، توجه به فاصله‌ی قرارگرفتن بلوک‌های ساختمانی بسیار حائز اهمیت است؛ علاوه‌براین، برای جلوگیری از سروصدای ناشی از چرخیدن توربین‌ها می‌توان درون آن‌ها دستگاه کنترل صوتی قرار داد. با قراردادن لنزهایی در این توربین‌ها می‌توان برای خاموش‌شدن خودکار به‌منظور تشخیص تأثیرات رعد و برق و جلوگیری از برخورد پرندگان با آن‌ها اقدام کرد.

برای بهینه‌سازی مصرف انرژی و تولید الکتریسیته‌ی بیشتر، می‌توان توربین‌های بادی را با سیستم‌های فتوولتاییک نیز ادغام کرد. هزینه‌ی اولیه‌ی استفاده از انرژی باد و توربین‌های بادی نسبتاً زیاد است؛ اما برخورداری از این سیستم‌ها در ایران، به‌ویژه در شهرهایی که وزش باد در آن‌ها نسبتاً مناسب است، علاوه‌بر زیبایی سیما و منظر شهری راهکار بسیار مناسبی برای کاهش مصرف انرژی و افزایش میزان انرژی تولیدی در بلندمدت به‌شمار می‌رود.

شکل٦: استفاده از تکنولوژی توربین‌های بادی در ساختمان‌های سبز برای کاهش مصرف انرژی

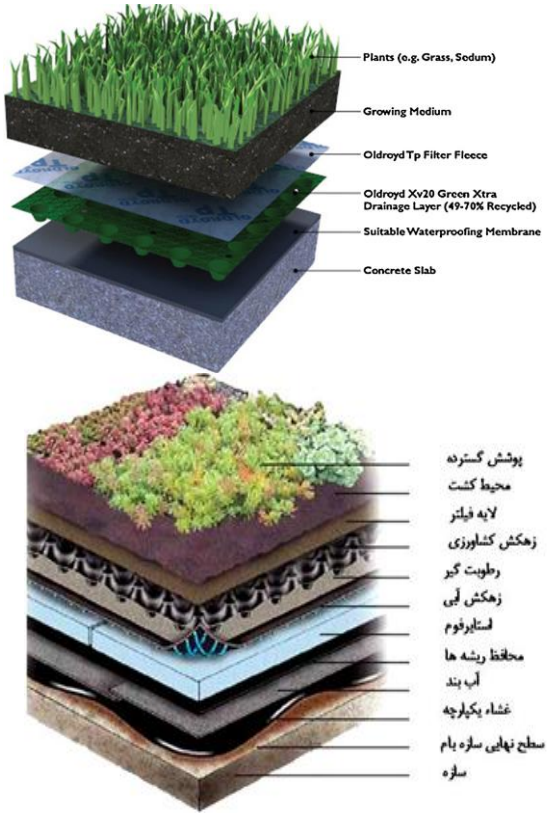
۷. پشت‌بام سبز

پشت‌بام سبز[1] در زمره‌ی تکنولوژی‌هایی است که به‌منظور دستیابی به ساختمان‌های سبز با هدف رسیدن به مفهوم توسعه‌ی پایدار نقش شایان توجهی ایفا می‌کند. همان‌طور که در شکل۷ نیز مشاهده می‌شود، در پشت‌بام سبز تمام یا قسمتی از پشت‌بام با گیاهانی پوشانده شده است که بر لایه‌ای ضدآب و عموماً در خاک رس کاشته شده‌اند. پشت‌بام‌های سبز باتوجه‌به عمق متوسط کشت و تأسیسات مورداستفاده، در دسته‌های مختلفی، مانند متمرکز، فشرده، نیمه‌متمرکز و وسیع طبقه‌بندی می‌شوند. این تکنولوژی

1. Green Roof

علاوه‌بر اینکه به ساختمان زیبایی می‌بخشد، عملکرد حرارتی ساختمان را افزایش می‌دهد و موجب کاهش انتقال حرارت و کنترل دمای داخلی می‌شود؛ درنتیجه استفاده از سیستم‌های تهویه‌ی مطبوع کمتر می‌شود که صرفه‌جویی و کاهش مصرف انرژی را در ساختمان‌ها به دنبال دارد. با بهره‌گیری از این تکنولوژی طول عمر سقف ساختمان‌ها را تا ۲۵سال افزایش می‌دهند. از دیگر مزایای استفاده از تکنولوژی پشت‌بام سبز می‌توان به عایق‌کردن ساختمان‌ها در برابر آلودگی‌های صوتی، تصفیه‌ی آلودگی‌ها و فلزات سنگین در آب باران، افزایش طول عمر عایق‌های رطوبتی، کاهش گرما و خنک‌کردن شایان توجه ساختمان‌ها، جبران کمبود فضای سبز در شهرها و درنتیجه زیبایی سیما و منظر شهری اشاره کرد.

هرچند پشت‌بام‌های سبز بر قیمت تمام‌شده‌ی ساختمان‌ها می‌افزاید، اعطای یارانه‌های دولتی راه‌حلی برای استفاده از این تکنولوژی در ساختمان‌ها و دستیابی به هدف توسعه‌ی شهر هوشمند به‌شمار می‌رود. در شکل۸ بهره‌گیری از تکنولوژی پشت‌بام سبز در ساختمان نشان داده شده است.



شکل۷: لایه‌های تشکیل‌دهنده‌ی پشت‌بام سبز

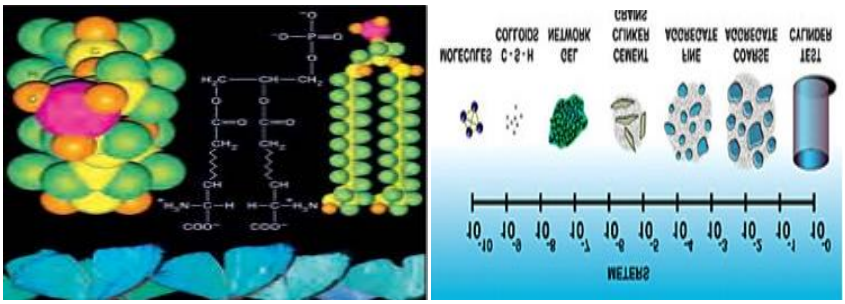
شکل۸: استفاده از تکنولوژی پشت‌بام سبز در ساختمان‌ها

۸. فناوری نانو

نانوذرات از فناوری‌های جدید به‌کاررفته در صنعت ساختمان‌سازی است. استفاده از فناوری نانو در ساختمان‌های سبز به‌منزله‌ی شاخصه‌ای بسیار مهم برای کاهش مصرف انرژی، صرفه‌جویی اقتصادی، پایداری محیط‌زیست و درنهایت دستیابی به هدف توسعه‌ی شهر هوشمند به‌شمار می‌رود. بهره‌گیری از فناوری نانو در ساختمان‌ها به روش‌های مختلفی امکان‌پذیر است که در زیر به آن‌ها اشاره شده است.

۸-۱. فناوری نانو در مصالح ساختمانی

مهم‌ترین نکته در انتخاب مواد و مصالح ساختمانی، تهیه‌ی محصولاتی است که کمترین آسیب را به محیط‌زیست می‌رسانند. فناوری نانو ازطریق به‌کارگیری نانوپودرها، به‌مثابه‌ی ماده‌ای مکمل در مصالح ساختمانی، منجر به افزایش مقاومت در ساختار بتن‌ها و استحکام‌پذیری بیشتر آن‌ها می‌شود؛ درواقع، استفاده از نانوسیلیس‌ها در ساختار بتن، علاوه‌بر بهبود خواص و ساختار آن، باعث ازبین‌رفتن آسیب‌های زیست‌محیطی ناشی از برخی مواد قلیایی نیز می‌شود؛ علاوه‌بر این بهره‌گیری از فناوری نانو در مصالح ساختمانی، به تولید مصالحی با وزن کمتر، ابعاد کوچک‌تر، دوام و استحکام بهتر می‌انجامد. در شکل۹ مقیاس ساختار مختلف بتن و استفاده‌ی نانوتکنولوژی در آن نشان داده شده است.



شکل۹: استفاده از نانوتکنولوژی در ساختار بتن و مصالح

۸-۲. فناوری نانو به‌منزله‌ی عایق حرارتی و صوتی

براساس مبحث۱۹ مقررات ملی ساختمان، عایق‌کاری از عوامل بسیار مهمی است که نقشی اساسی در گرم نگه‌داشتن ساختمان در زمستان و خنک نگه‌داشتن آن در تابستان دارد. براساس یافته‌های علمی منتشرشده، به‌دلیل عایق‌نبودن پوسته‌ی خارجی ساختمان به‌صورت میانگین و تقریبی، حدود ۳۵درصد اتلاف انرژی ازطریق دیوارهای جانبی و ۲۵درصد ازطریق سقف و ۱۰درصد ازطریق کف ساختمان‌هاست؛ درحالی‌که ۲۰تا۲۵درصد اتلاف انرژی ازطریق پنجره‌ها و درهای ساختمان رخ می‌دهد؛ بنابراین با عایق‌کاری و استفاده‌ی مناسب از مصالح در ساخت، می‌توان بخش شایان توجهی از انرژی موردنیاز ساختمان را کاهش داد.

با عایق‌کاری می‌توان ساختمان‌ها را در فصل سرما تا حدود پنج‌درجه‌ی سانتی‌گراد گرم و در فصل گرما تا حدود ده‌درجه‌ی سانتی‌گراد خنک نگه داشت. روش‌های مختلفی برای عایق‌کاری ساختمان‌ها وجود دارد و فناوری نانو از تکنولوژی‌های بسیار کارامد به‌منظور عایق‌کاری حرارتی و صوتی ساختمان‌هاست؛ همان‌طور که در شکل۱۰ نیز نشان داده شده است، استفاده از نانورنگ‌های عایق برای عایق‌کاری حرارتی دیوار و سقف، به‌منظور جلوگیری از ورود و خروج گرما به‌کار می‌رود. در این روش، بدون اینکه سقف یا دیوار را تخریب کنند، به‌سادگی می‌توان نانورنگ‌ها را بر روی سطح مدنظر استفاده کرد.

این نانورنگ‌های عایق را می‌توان در محدوده‌ی دمایی ۱۴۰ـ درجه‌ی سانتی‌گراد تا ۱۶۰درجه‌ی سانتی‌گراد استفاده کرد؛ همچنین از آیروژل‌ها و نانوژل‌هایی با خاصیت تخلخل بسیار و وزن کم، علاوه‌بر عایق‌کاری حرارتی ساختمان، می‌توان برای عایق‌کاری صوتی نیز استفاده کرد؛ به‌طور کلی، عایق‌کاری ساختمان‌ها سبب افزایش ۵درصدی هزینه‌های ساختمان می‌شود؛ درمقابل، کاهش هزینه‌های گرمایش و سرمایش ساختمان دست‌کم ۴درصد خواهد شد. استفاده از این تکنولوژی در ساختمان‌های سبز علاوه‌بر مدیریت بهینه در مصرف انرژی و پایداری محیط‌زیست نقشی اساسی در توسعه و رشد شهری ایفا می‌کند.

شکل۱۰: نانورنگ‌های عایق برای عایق‌کاری ساختمان‌ها

۸-۳. استفاده از فناوری نانو در جدارها و پنجره‌های ساختمانی

شیشه‌ها و پنجره‌ها در میزان دریافت انرژی تابشی خورشید و اتلاف حرارتی ساختمان مؤثرند؛ به‌طور

معمول همان‌گونه که بیان شد، حدود ۲۰تا۲۵درصد از انرژی در ساختمان‌ها ازطریق پنجره‌ها هدر می‌رود، برای جلوگیری از این اتلاف انرژی، استفاده از تکنولوژی شیشه‌های نانو الکتروکرومیک بسیار مؤثر است. در این شیشه‌ها کلیدی تعبیه شده است که با فشردن آن، بدون ازبین‌رفتن دید ساکنان ساختمان، شیشه به‌صورت خودکار تیره می‌شود و مانع ورود نور خورشید به درون ساختمان می‌گردد؛ علاوه‌بر این، استفاده و به‌کارگیری شیشه‌های خودتمیزشونده که از نانوذرات دی‌اکسیدتیتانیوم با خاصیت ضدلک و ضدباکتری ساخته شده است، از دیگر کاربردهای استفاده از فناوری نانوتکنولوژی در ساختمان‌ها به‌منظور جلوگیری از اتلاف انرژی است؛ همچنین استفاده از تکنولوژی شیشه‌های هوشمند زیبایی نمای بیرونی ساختمان و منظر شهری را تأمین می‌کند. در شکل۱۱، نمونه‌ای از فناوری نانوتکنولوژی در شیشه‌های ساختمانی نشان داده شده است.

شکل۱۱: استفاده از فناوری نانو در شیشه‌های ساختمان، به‌منظور کاهش مصرف انرژی

۹. مواد تغییرفازدهنده

استفاده از تکنولوژی مواد تغییرفازدهنده یا PCM علمی نوظهور در رده‌ی انرژی‌های نو است که امروزه باتوجه‌به هدف طراحی ساختمان‌های هوشمند، به‌منظور ذخیره‌سازی و بهینه‌سازی مصرف انرژی به‌کار می‌رود. در این تکنولوژی، همان‌طور که در شکل۱۲ نیز نشان داده شده است، بدون استفاده از تجهیزات مکانیکی و باتوجه‌به نوسانات و دمای محیط، ماده به‌صورت خودبه‌خودی در دو حالت جامد و مایع تغییر فاز می‌دهد و پس از تبادل حرارت با محیط، منجر به کاهش مصرف انرژی و متعادل‌کردن دمای فضای داخلی ساختمان‌ها در ساعات اوج مصرف می‌شود.

مهم‌ترین ویژگی مواد تغییرفازدهنده، چگالی بسیار آن‌ها برای ذخیره‌ی انرژی درمقایسه‌با سایر روش‌های مشابه است. استفاده و به‌کارگیری مواد تغییرفازدهنده در ساختمان‌ها، همان‌طور که در شکل‌های ۱۳ و ۱۴ نشان داده شده است، به دو صورت امکان‌پذیر است: ۱. استفاده از پاکت‌های پلاستیکی که به فضا و ابعاد بزرگ نیاز دارد با قیمتی نسبتاً ارزان؛ ۲. استفاده از میکروکپسول‌های حاوی

این مواد با قطری بین ۱تا۳میکرومتر. مزایای استفاده از میکروکپسول‌ها سهولت به‌کارگیری به‌منزله‌ی ماده‌ی افزودنی به مصالح و مقاومت در برابر گرما و نیروهای مکانیکی است و از معایب این میکروکپسول‌ها قیمت گزاف آن است؛ همچنین مواد تغییرفازدهنده به‌علت ویژگی هدایت حرارتی، گرما را در خود محصور می‌کنند و به‌مثابه‌ی صفحات عایق شفاف در شیشه‌های ساختمان به‌کار می‌روند.

مواد تغییرفازدهنده، در فواصل شیشه‌های دوجداره هنگام تابش نور خورشید با تغییر فاز به مایعی شفاف تبدیل می‌شود و هنگام شب، مجدداً به فاز جامد باز می‌گردد و باعث حفظ گرما در درون ساختمان و روشنایی آن می‌شود. از دیگر کاربردهای این تکنولوژی استفاده از آن در دیوار ترومپ، برای حفاظت در برابر آتش است.

شکل۱۲: استفاده از تکنولوژی مواد تغییرفازدهنده در ساختمان به‌منظور کاهش مصرف انرژی

شکل۱۳: مواد تغییرفازدهنده به‌صورت میکروکپسول

شکل۱٤: مواد تغییرفازدهنده به‌صورت پاکت‌های پلاستیکی

۱۰. طراحی ساختمان با رویکرد انرژی صفر

در طراحی ساختمان‌های سبز و معرفی تکنولوژی‌های مؤثر در این ساختمان‌ها، علاوه‌بر رعایت عوامل معمول در ساختمان، نکات دیگری را نیز باید درنظر گرفت. همان‌گونه که بیان شد، به‌دلیل موقعیت خاص جغرافیایی ایران، یکی از منابع مهم تجدیدپذیر و پاک و دردسترس، انرژی خورشیدی است؛ بنابراین برای تأمین انرژی در ساختمان، استفاده از انرژی مستقیم و غیرمستقیم خورشید عاملی مهم محسوب می‌شود.

قرارگیری ساختمان از دیگر عوامل مؤثر بر بهبود کیفیت وضعیت حرارتی و محیطی فضای داخلی آن به‌شمار می‌رود؛ همچنین ساختمان‌ها باید در جهتی ساخته شود که در مواقع سرد سال بیشترین و در مواقع گرم سال کمترین میزان انرژی خورشید به نمای اصلی آن تابیده شود؛ علاوه‌بر این در جانمایی فضاهای ساختمان، به‌منظور استفاده‌ی مفیدتر از نور و انرژی خورشید، بهتر است فضاهایی که کاربری بیشتری دارند، در ضلع جنوبی ساختمان قرار گیرند و فضاهایی با کاربری کمتر، مانند پارکینگ و انباری در ضلع شمالی ساختمان تعبیه شوند.

از دیگر نکات مهمی که تأثیر بسزایی بر کسب انرژی حرارتی خورشید و استفاده از روشنایی طبیعی در طراحی ساختمان می‌گذارد، توجه به کشیدگی ساختمان‌هاست؛ معمولاً در ساختمان‌هایی با طراحی شرقی‌غربی، بیشتر فضای ساختمان از نهایت گرمایش خورشید و همچنین، روشنایی طبیعی بهره‌مند می‌شود.

۱۱. نتیجه‌گیری

باتوجه‌به مبحث۱۹ مقررات ملی ساختمان، با استفاده از الگوهای مناسب طراحی و معماری در ساختمان می‌توان انرژی موردنیاز را درزمینه‌ی گرمایش و سرمایش به‌صورت چشم‌گیری کاهش داد. در مقاله‌ی حاضر، بیان شد که با بهره‌گیری از منابع مختلف انرژی‌های تجدیدپذیر و پاک و دوست‌دار محیط‌زیست،

همچون، انرژی خورشیدی، انرژی بادی، فناوری‌های نانو، پشت‌بام سبز، مواد تغییرفازدهنده و دیوار ترومپ به‌منظور بهینه‌سازی و کاهش مصرف انرژی در ساختمان‌هایی موسوم به ساختمان‌های سبز می‌توان برای بهبود وضعیت هدررفت انرژی در ساختمان‌های معمول راهکاری ارائه داد.

همچنین، در ساختمان‌های سبز شاخصه‌های طراحی، براساس رویکرد کارایی انرژی و چیدمان مناسب فضاها، رعایت جهت‌گیری و کشیدگی صحیح ساختمان‌ها و فشردگی حجم باتوجه‌به اقلیم و جغرافیا، عایق‌کاری حرارتی و صوتی دیوارها، استفاده از شیشه‌های هوشمند و پنجره‌های دوجداره بررسی گردید و این نتیجه حاصل شد که با اجرا و پیاده‌سازی این تکنولوژی‌ها در ساختمان، باتوجه‌به پتانسیل‌های فراوانی که در ایران وجود دارد، مصرف انرژی در ساختمان سبز درمقایسه‌با ساختمان معمولی حدود ۸۰ تا۹۰درصد کاهش می‌یابد و در بلندمدت بسیار مقرون‌به‌صرفه خواهد بود و نقش مهمی در کاهش و بهینه‌سازی مصرف انرژی ایفا می‌کند.

کتابنامه

الف. فارسی

سازمان انرژی‌های نو ایران (سانا)

سازمان توانیر

م، معرفت؛ سعید،کیان (۱۳۸۸). به‌کارگیری مواد تغییرفازدهنده در ساختمان درجهت صرفه‌جویی در انرژی گرمایشی، *مهندسی مکانیک*، س۱۸، ۶۸

مبحث نوزدهم مقررات کلی ساختمان، صرفه‌جویی در مصرف انرژی.

یوسف، گرجی؛ الناز،حاج‌ابوطالب (۱۳۸۸). مصالح هوشمند و نقش آن در معماری.

ب. انگلیسی

Gilbert & Masters (2004). Renewable and efficient electric power system.

Jawdat, Goussousa; Hadi، Siama; & Hussain, Alzoubi (2004). Prospects of green roof technology for energy and thermal benefits in buildings: Case of Jordan. *Sustainable Cities and Society*.

Kashif, Irshada; Khairul, Habiba ; & Nagarajan, Thirumalaiswamya (2015). Performance evaluation of PV-Trombe wall for sustainable building development, *12th Global Conference on Sustainable Manufacturing*.

Eslami, Mahdi; yaghoubi, Mahmod; Iranmanesh, Masoud; & Pakfetrat, Alireza (2015). Compare and simulate the performance of solar systems to produce energy for the city of Kerman with and without considering the effect of using the software Shading System Advisor Modeling (SAM). *Dubai International Conference on Engineering Sciences*, 14p.

R.M, Moharil; P.S, Kulkarni (2009). A case study of solar photovoltaic power system at Sagardeep Island, India, *Renewable and Sustainable Energy Reviews.* 13, pp. 673-681.