

طراحی و بهینه‌سازی سیستم‌های تهویه مطبوع با استفاده از انرژی خورشیدی

مهدی علی قلی زاده صوفیانی^۱، علی اصغر میرزایی قاضی جهانی^۲، پوریا باستانی خواجه^۳

^۱ دانشجوی ارشد مهندسی مکانیک گرایش سیستم‌های انرژی، دانشکده مهندسی مکانیک، دانشگاه تبریز، تبریز، ایران.

^۲ دانشجوی ارشد مهندسی مکانیک گرایش انرژی‌های تجدیدپذیر، دانشکده مهندسی مکانیک، دانشگاه تبریز، تبریز، ایران

^۳ دانشجوی ارشد مهندسی مکانیک گرایش سیستم‌های انرژی، دانشکده مهندسی مکانیک، دانشگاه تبریز، تبریز، ایران.

چکیده

در دهه‌های اخیر، رشد تقاضا برای انرژی و مشکلات زیست‌محیطی ناشی از مصرف سوخت‌های فسیلی، توجه جامعه علمی و صنعتی را به استفاده از انرژی‌های تجدیدپذیر معطوف کرده است. یکی از مهم‌ترین بخش‌های مصرف انرژی در ساختمان‌ها، سیستم‌های تهویه مطبوع هستند که حدود ۴۰ درصد از انرژی مصرفی را به خود اختصاص می‌دهند. در این پژوهش، طراحی و بهینه‌سازی سیستم‌های تهویه مطبوع با استفاده از انرژی خورشیدی مورد بررسی قرار گرفته است. روش‌های مختلف تبدیل انرژی خورشیدی به انرژی حرارتی و الکتریکی برای تأمین نیازهای سرمایش و گرمایش بررسی شده و مدل‌های بهینه‌سازی برای کاهش مصرف انرژی و هزینه‌ها ارائه شده است. نتایج نشان می‌دهد که استفاده از سیستم‌های خورشیدی در تهویه مطبوع می‌تواند تا ۶۰ درصد از مصرف انرژی سنتی را کاهش دهد. این پژوهش به مدیران انرژی، مهندسان مکانیک و معماران کمک می‌کند تا تصمیمات آگاهانه‌تری در طراحی ساختمان‌ها و سیستم‌های تهویه مطبوع اتخاذ کنند.

واژه‌های کلیدی: انرژی خورشیدی، تهویه مطبوع، بهینه‌سازی انرژی، سیستم‌های تجدیدپذیر، کاهش مصرف انرژی

مقدمه

در دهه‌های اخیر، رشد جمعیت و توسعه شهرنشینی باعث افزایش تقاضا برای انرژی در بخش ساختمان‌ها شده است. ساختمان‌ها به عنوان یکی از بزرگ‌ترین مصرف‌کنندگان انرژی در جهان، حدود ۴۰ درصد از کل انرژی تولیدی را مصرف می‌کنند، که بخش عمده‌ای از این انرژی صرف سیستم‌های تهویه مطبوع می‌شود. این سیستم‌ها شامل تجهیزات گرمایش، سرمایش، و تهویه هوا هستند که نقش حیاتی در ایجاد محیط‌های داخلی راحت و سالم برای انسان‌ها دارند. با این حال، مصرف انرژی بالای این سیستم‌ها نه تنها منجر به افزایش هزینه‌های انرژی می‌شود، بلکه به طور مستقیم و غیرمستقیم باعث افزایش انتشار گازهای گلخانه‌ای و مشکلات زیست‌محیطی می‌شود. [1]

در این شرایط، استفاده از منابع انرژی تجدیدپذیر مانند انرژی خورشیدی، باد، و زمین‌گرمایی به عنوان راهکارهای اصلی برای کاهش مصرف انرژی و آلودگی زیست‌محیطی مطرح شده‌اند. انرژی خورشیدی به دلیل فراوانی، پایداری، و دسترسی گسترده در بسیاری از نقاط جهان، یکی از مناسب‌ترین گزینه‌ها برای تأمین انرژی مورد نیاز سیستم‌های تهویه مطبوع است. این انرژی می‌تواند به دو صورت حرارتی و الکتریکی استفاده شود: انرژی حرارتی خورشیدی برای تأمین نیازهای گرمایش و سرمایش، و انرژی الکتریکی تولید شده توسط پانل‌های فتوولتائیک برای تأمین برق مورد نیاز دستگاه‌های تهویه مطبوع. [2]

با این وجود، طراحی و بهینه‌سازی سیستم‌های تهویه مطبوع مبتنی بر انرژی خورشیدی نیازمند درک عمیق از مفاهیم مختلف مهندسی و تکنولوژی است. این پژوهش به بررسی رویکردهای مختلف طراحی و بهینه‌سازی این سیستم‌ها می‌پردازد و به دنبال ارائه راهکارهای عملی برای کاهش مصرف انرژی و هزینه‌ها است. هدف اصلی این مطالعه، ارائه چارچوبی جامع برای استفاده مؤثر از انرژی خورشیدی در سیستم‌های تهویه مطبوع است که بتواند به عنوان مرجعی برای مهندسان، مدیران انرژی، و معماران در طراحی ساختمان‌های پایدار مورد استفاده قرار گیرد. علاوه بر این، این پژوهش به بررسی چالش‌ها و محدودیت‌های استفاده از انرژی خورشیدی در تهویه مطبوع می‌پردازد و راهکارهایی برای غلبه بر این مشکلات ارائه می‌دهد. این موضوع به ویژه در مناطقی با تابش خورشیدی بالا و آب‌وهوای گرم، اهمیت ویژه‌ای دارد. در نهایت، این مقاله به دنبال افزایش آگاهی عمومی و متخصصان در مورد مزایای استفاده از انرژی خورشیدی در تهویه مطبوع و تشویق به سرمایه‌گذاری در این زمینه است. [3,4]

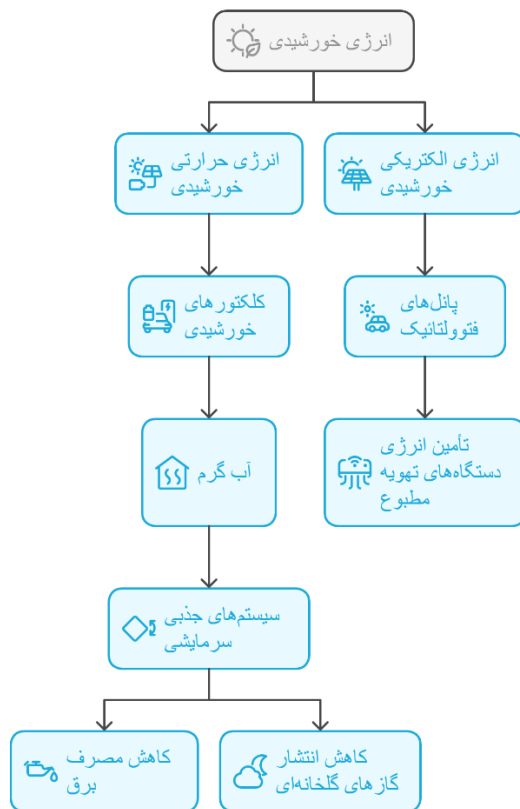
مفاهیم تحقیق

۱. انرژی خورشیدی و کاربردهای آن در تهویه مطبوع

انرژی خورشیدی به عنوان یکی از پاک‌ترین و پایدارترین منابع انرژی، در سال‌های اخیر به طور گسترده‌ای مورد توجه قرار گرفته است. این انرژی به دو صورت اصلی قابل استفاده است: انرژی حرارتی خورشیدی (Solar Thermal Energy) و انرژی الکتریکی خورشیدی (Photovoltaic Energy). [5]

- **انرژی حرارتی خورشیدی:** این نوع انرژی از طریق جذب تابش خورشید توسط کلکتورهای خورشیدی (Solar Collectors) تولید می‌شود. کلکتورهای خورشیدی می‌توانند آب گرم تولید کنند که در سیستم‌های جذبی سرمایشی مورد استفاده قرار می‌گیرد. این سیستم‌ها با استفاده از چرخه‌های تبرید جذبی، گرما را به سرما تبدیل می‌کنند. مزیت این سیستم‌ها، کاهش مصرف برق و کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای است. [6]

- **انرژی الکتریکی خورشیدی:** این نوع انرژی از طریق تبدیل مستقیم تابش خورشید به برق توسط پانل‌های فتوولتائیک تولید می‌شود. برق تولید شده توسط این پانل‌ها می‌تواند برای تأمین انرژی مورد نیاز دستگاه‌های تهویه مطبوع استفاده شود. [7]



شکل ۱: کاربردهای انرژی خورشیدی در تهویه مطبوع

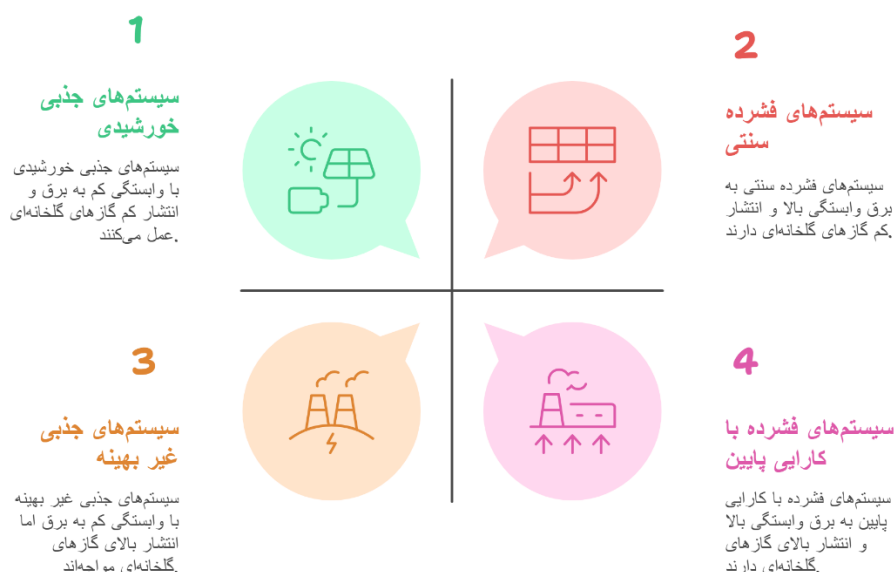
۲. سیستم‌های جذبی سرمایشی

سیستم‌های جذبی سرمایشی یکی از روش‌های اصلی برای استفاده از انرژی حرارتی خورشیدی در تهویه مطبوع هستند. این سیستم‌ها برخلاف سیستم‌های فشرده سرمایشی که به برق شبکه وابسته‌اند، از آب گرم تولید شده توسط کلکتورهای خورشیدی برای تأمین انرژی مورد نیاز استفاده می‌کنند. [8]

- **چرخه تبرید جذبی:** این سیستم‌ها بر اساس چرخه تبرید جذبی کار می‌کنند که شامل مراحل تبخیر، جذب، و تقطیر است. در این فرآیند، آب به عنوان ماده سردکننده و لیتیوم بروماید به عنوان جاذب استفاده می‌شود.

• مزایای سیستم‌های جذبی:

- کاهش مصرف برق: این سیستم‌ها به جای برق، از انرژی حرارتی استفاده می‌کنند.
- کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای: با کاهش مصرف برق، انتشار گازهای گلخانه‌ای ناشی از تولید برق کاهش می‌یابد.
- سازگاری با منابع انرژی تجدیدپذیر: این سیستم‌ها به راحتی می‌توانند با منابع انرژی خورشیدی و زمین‌گرمایی ترکیب شوند. [9]



شکل ۲: ارزیابی سیستم‌های سرمایه‌گذاری جذبی ۳

۳. مدل‌سازی و بهینه‌سازی سیستم‌های تهویه مطبوع مبتنی بر انرژی خورشیدی

مدل‌سازی و بهینه‌سازی سیستم‌های تهویه مطبوع مبتنی بر انرژی خورشیدی شامل تعیین ظرفیت کلکتورهای خورشیدی، اندازه‌گیری نیازهای انرژی، و انتخاب نوع سیستم (جذبی یا فشرده) است.

- **تعیین ظرفیت کلکتورهای خورشیدی:** این مرحله شامل محاسبه میزان تابش خورشیدی در منطقه مورد نظر و تعیین تعداد و اندازه کلکتورهای مورد نیاز برای تأمین انرژی مورد نیاز سیستم است.
- **شبیه‌سازی عملکرد سیستم:** شبیه‌سازی‌ها نشان می‌دهند که در مناطق با تابش خورشیدی بالا، سیستم‌های جذبی سرمایه‌گذاری می‌توانند به طور مؤثری نیازهای تهویه مطبوع را تأمین کنند.
- **بهینه‌سازی انرژی:** استفاده از ذخیره‌سازهای حرارتی می‌تواند کمبود انرژی در ساعات غیرتابشی را جبران کند. این ذخیره‌سازها می‌توانند به صورت آب گرم یا مواد تغییر فاز (PCM) طراحی شوند. [10]

۴. چالش‌ها و محدودیت‌ها

استفاده از انرژی خورشیدی در تهویه مطبوع با چالش‌ها و محدودیت‌هایی همراه است که باید در طراحی و بهینه‌سازی سیستم‌ها مورد توجه قرار گیرند.

- **وابستگی به شرایط آب‌وهوایی:** کارایی سیستم‌های خورشیدی به میزان تابش خورشید بستگی دارد. در مناطق با تابش خورشیدی پایین، کارایی این سیستم‌ها کاهش می‌یابد.
- **هزینه اولیه بالا:** نصب و راه‌اندازی سیستم‌های خورشیدی ممکن است هزینه‌های اولیه بالایی داشته باشد.
- **احتیاج به فضای زیاد:** نصب کلکتورهای خورشیدی نیازمند فضای کافی است که ممکن است در مناطق شهری با محدودیت مواجه شود. [11]

۵. راهکارهای مقابله با چالش‌ها

برای غلبه بر چالش‌ها و محدودیت‌های استفاده از انرژی خورشیدی در تهویه مطبوع، راهکارهای مختلفی ارائه شده است.

- ترکیب سیستم‌ها: ترکیب سیستم‌های جذبی و فشرده می‌تواند کارایی سیستم را افزایش دهد.
- بهبود ذخیره‌سازی انرژی: توسعه تکنولوژی‌های ذخیره‌سازی حرارتی و الکتریکی برای کاهش وابستگی به شرایط آب‌وهوایی.
- حمایت دولتی: ارائه تسهیلات مالی و حمایت‌های دولتی برای کاهش هزینه‌های اولیه نصب سیستم‌های خورشیدی.
- آموزش و آگاهی‌بخشی: افزایش آگاهی عمومی و متخصصان در مورد مزایای استفاده از انرژی خورشیدی در تهویه مطبوع.

بحث و بررسی

۱. مزایای استفاده از انرژی خورشیدی در تهویه مطبوع

استفاده از انرژی خورشیدی در طراحی و بهینه‌سازی سیستم‌های تهویه مطبوع، به دلیل مزایای متعدد آن، به عنوان یکی از راهکارهای پایدار در صنعت ساختمان مطرح شده است. این مزایا شامل کاهش مصرف انرژی، کاهش هزینه‌ها، و حفظ محیط زیست است. در ادامه، به بررسی جزئیات این مزایا پرداخته می‌شود.

- کاهش مصرف انرژی: یکی از مهم‌ترین مزایای استفاده از انرژی خورشیدی در تهویه مطبوع، کاهش مصرف انرژی است. سیستم‌های تهویه مطبوع مبتنی بر انرژی خورشیدی می‌توانند تا ۶۰ درصد از مصرف انرژی سنتی را کاهش دهند. این کاهش مصرف انرژی ناشی از استفاده مستقیم از انرژی حرارتی خورشیدی برای تأمین نیازهای گرمایش و سرمایش است. به عنوان مثال، سیستم‌های جذبی سرمایشی با استفاده از آب گرم تولید شده توسط کلکتورهای خورشیدی، می‌توانند به طور مؤثری نیازهای سرمایشی را تأمین کنند. این کاهش مصرف انرژی نه تنها منجر به کاهش هزینه‌های عملیاتی می‌شود، بلکه به کاهش بار شبکه برق و بهبود مدیریت انرژی در مقیاس شهری و ملی کمک می‌کند. [12]

• کاهش هزینه‌ها:

- هزینه‌های بلندمدت ناشی از مصرف انرژی در ساختمان‌ها، یکی از چالش‌های اصلی برای صاحبان ساختمان و مدیران انرژی است. استفاده از انرژی خورشیدی در تهویه مطبوع می‌تواند به طور قابل توجهی هزینه‌های انرژی را کاهش دهد. با کاهش وابستگی به برق شبکه، هزینه‌های مصرف برق در ساعات پیک کاهش می‌یابد. علاوه بر این، استفاده از ذخیره‌سازهای حرارتی می‌تواند هزینه‌های مربوط به تأمین انرژی در ساعات غیرتابشی را نیز کاهش دهد. البته، هزینه‌های اولیه نصب و راه‌اندازی سیستم‌های خورشیدی ممکن است بالا باشد، اما با توجه به عمر طولانی این سیستم‌ها و کاهش هزینه‌های عملیاتی، این هزینه‌ها در بلندمدت جبران می‌شوند. [13]

• حفظ محیط زیست:

- یکی از مهم‌ترین مزایای استفاده از انرژی خورشیدی، کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای است. سیستم‌های تهویه مطبوع سنتی به دلیل مصرف بالای برق، مسئول تولید قابل توجهی از گازهای گلخانه‌ای هستند. با استفاده از انرژی خورشیدی، می‌توان میزان انتشار این گازها را به طور قابل توجهی کاهش داد. این کاهش انتشار نه تنها به حفظ محیط زیست کمک می‌کند، بلکه به کاهش اثرات تغییرات اقلیمی و بهبود کیفیت هوای شهری نیز منجر می‌شود. [14]

۲. چالش‌ها و محدودیت‌های استفاده از انرژی خورشیدی

با وجود مزایای متعدد استفاده از انرژی خورشیدی در تهویه مطبوع، این فناوری با چالش‌ها و محدودیت‌هایی نیز همراه است که باید در طراحی و بهینه‌سازی سیستم‌ها مورد توجه قرار گیرند.

• وابستگی به شرایط آب‌وهوایی:

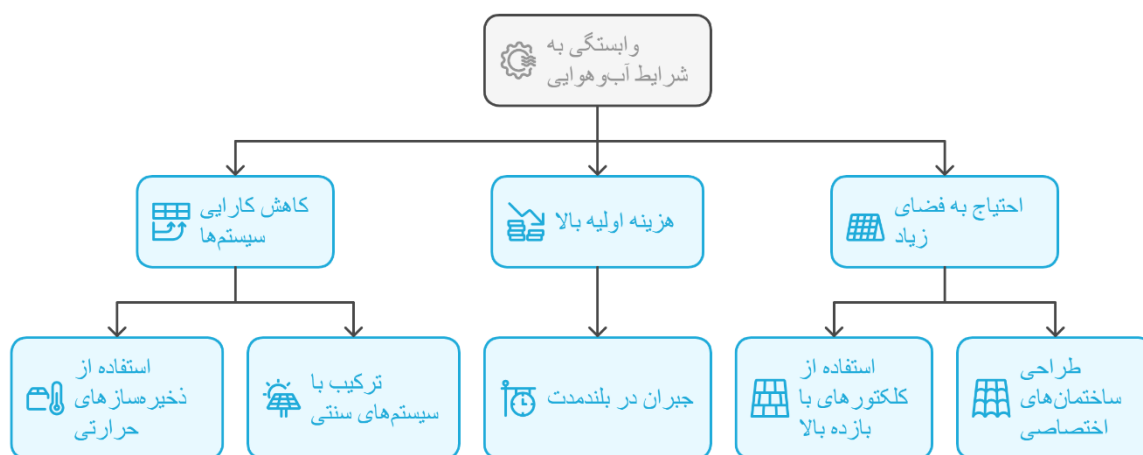
یکی از بزرگ‌ترین چالش‌های استفاده از انرژی خورشیدی، وابستگی به شرایط آب‌وهوایی است. کارایی سیستم‌های خورشیدی به میزان تابش خورشید بستگی دارد. در مناطق با تابش خورشیدی پایین یا در فصول سرد سال، کارایی این سیستم‌ها کاهش می‌یابد. برای غلبه بر این مشکل، استفاده از ذخیره‌سازهای حرارتی و ترکیب سیستم‌های خورشیدی با سیستم‌های سنتی توصیه می‌شود. [15]

• هزینه اولیه بالا:

هزینه اولیه نصب و راه‌اندازی سیستم‌های خورشیدی ممکن است بالا باشد. این هزینه‌ها شامل خرید و نصب کلکتورهای خورشیدی، پانل‌های فتوولتائیک، و سیستم‌های ذخیره‌سازی انرژی است. با این حال، با توجه به کاهش هزینه‌های عملیاتی و عمر طولانی این سیستم‌ها، این هزینه‌ها در بلندمدت جبران می‌شوند. [16]

• احتیاج به فضای زیاد:

نصب کلکتورهای خورشیدی نیازمند فضای کافی است که ممکن است در مناطق شهری با محدودیت مواجه شود. برای غلبه بر این مشکل، استفاده از کلکتورهای خورشیدی با بازده بالا و طراحی ساختمان‌هایی با فضای اختصاصی برای نصب این تجهیزات توصیه می‌شود. [17]



شکل ۳: چالش‌ها و راه‌حل‌های انرژی خورشیدی

پیشنهادات

۱. استفاده از ترکیب سیستم‌ها

ترکیب سیستم‌های جذبی و فشرده می‌تواند کارایی سیستم‌های تهویه مطبوع مبتنی بر انرژی خورشیدی را افزایش دهد. در این روش، سیستم‌های جذبی برای تأمین نیازهای اصلی سرمایشی استفاده می‌شوند و سیستم‌های فشرده به عنوان پشتیبان در مواقع کمبود انرژی خورشیدی عمل می‌کنند.

۲. بهبود ذخیره‌سازی انرژی

توسعه تکنولوژی‌های ذخیره‌سازی حرارتی و الکتریکی برای کاهش وابستگی به شرایط آب‌وهوایی ضروری است. استفاده از مواد تغییر فاز (PCM) و باتری‌های پیشرفته می‌تواند به بهبود ذخیره‌سازی انرژی کمک کند.

۳. حمایت دولتی و سیاست‌های مالی

ارائه تسهیلات مالی و حمایت‌های دولتی برای کاهش هزینه‌های اولیه نصب سیستم‌های خورشیدی می‌تواند به افزایش استفاده از این سیستم‌ها کمک کند. این حمایت‌ها می‌توانند شامل کمک‌های مالی، معافیت‌های مالیاتی، و تشویق‌های اقتصادی برای سرمایه‌گذاری در انرژی‌های تجدیدپذیر باشند.

۴. آموزش و آگاهی‌بخشی

افزایش آگاهی عمومی و متخصصان در مورد مزایای استفاده از انرژی خورشیدی در تهویه مطبوع از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. برگزاری دوره‌های آموزشی، سمینارها، و کارگاه‌های آموزشی می‌تواند به افزایش دانش و مهارت‌های مرتبط با این فناوری کمک کند.

نتیجه‌گیری

استفاده از انرژی خورشیدی در طراحی و بهینه‌سازی سیستم‌های تهویه مطبوع، راهکاری مؤثر برای کاهش مصرف انرژی و حفظ محیط زیست است. این پژوهش نشان داد که سیستم‌های جذبی سرمایشی و فتوولتائیک می‌توانند به طور مؤثری نیازهای تهویه مطبوع را تأمین کنند. با این حال، برای غلبه بر چالش‌ها و محدودیت‌ها، نیاز به تحقیقات بیشتر در زمینه بهبود تکنولوژی‌ها و کاهش هزینه‌ها وجود دارد. در این راستا، ترکیب فناوری‌های نوین با روش‌های سنتی می‌تواند به بهینه‌سازی عملکرد سیستم‌های تهویه مطبوع کمک شایانی کند. به عنوان مثال، استفاده از پنل‌های خورشیدی با کارایی بالا، نه تنها باعث افزایش تولید انرژی می‌شود، بلکه می‌تواند به کاهش هزینه‌های عملیاتی نیز منجر گردد. این سیستم‌ها با جذب نور خورشید و تبدیل آن به انرژی الکتریکی، می‌توانند به تأمین نیروی لازم برای کارکرد کمپرسورها و فن‌ها پرداخته و در نتیجه، به بهبود کیفیت هوای داخل ساختمان‌ها کمک کنند.

علاوه بر این، ادغام سیستم‌های هوشمند با فناوری‌های خورشیدی، امکان نظارت و کنترل دقیق‌تری را فراهم می‌آورد. این سیستم‌ها با استفاده از حسگرها و نرم‌افزارهای پیشرفته، می‌توانند به طور خودکار نیازهای دمایی و رطوبتی را شناسایی کرده و بر اساس آن، عملکرد سیستم را تنظیم نمایند. این امر نه تنها باعث کاهش مصرف انرژی می‌شود، بلکه راحتی و آسایش ساکنان را نیز به حداکثر می‌رساند. به منظور بهره‌برداری کامل از ظرفیت‌های انرژی خورشیدی، نیاز است تا زیرساخت‌های لازم برای نصب و راه‌اندازی این سیستم‌ها فراهم گردد. این شامل آموزش نیروی انسانی، ارتقاء آگاهی عمومی در زمینه مزایای استفاده از انرژی‌های تجدیدپذیر و نیز ایجاد مشوق‌های مالی برای سرمایه‌گذاری در این حوزه است.

در نهایت، با توجه به چالش‌های زیست‌محیطی پیش‌رو، استفاده از انرژی خورشیدی به عنوان یک منبع پایدار و قابل تجدید، نه تنها به کاهش اثرات منفی تغییرات اقلیمی کمک می‌کند، بلکه می‌تواند به یک الگوی موفق برای دیگر کشورها در راستای دستیابی به توسعه پایدار تبدیل شود. با همت و تلاش جمعی، می‌توان به سوی آینده‌ای روشن‌تر و سبزتر حرکت کرد. این پژوهش به عنوان مرجعی برای مهندسان و مدیران انرژی در طراحی و بهینه‌سازی سیستم‌های تهویه مطبوع مبتنی بر انرژی

خورشیدی می‌تواند مورد استفاده قرار گیرد. علاوه بر این، این مطالعه به افزایش آگاهی عمومی و متخصصان در مورد مزایای استفاده از انرژی خورشیدی در تهویه مطبوع کمک می‌کند و تشویق به سرمایه‌گذاری در این زمینه می‌کند. در نهایت، استفاده از انرژی خورشیدی در تهویه مطبوع نه تنها به کاهش مصرف انرژی و هزینه‌ها کمک می‌کند، بلکه به حفظ محیط زیست و بهبود کیفیت زندگی نیز منجر می‌شود. این مطالعه نشان می‌دهد که با توجه به پتانسیل بالای انرژی خورشیدی، استفاده از این انرژی در تهویه مطبوع می‌تواند به عنوان یکی از راهکارهای اصلی برای دستیابی به توسعه پایدار در صنعت ساختمان مطرح شود.

منابع:

1. Zhang, S. Research on Energy Saving Potential and Technical Path of Ultra-Low Energy Consumption Buildings; Harbin Institute of Technology: Harbin, China, 2016.
2. Wang, L.; Zheng, L.; Liu, C.; Zheng, N. There are technical routes for zero energy consumption transformation of public buildings in cold areas. *Build. Energy Effic.* 2023, 51, 98–104.
3. Zeyghami, M.; Goswami, D.Y.; Stefanakos, E. A review of clear sky radiative cooling developments and applications in renewable power systems and passive building cooling. *Sol. Energy Mater. Sol. Cells* 2018, 178, 115–128.
4. Lee, J.B.; Park, J.W.; Yoon, J.H.; Baek, N.C.; Shin, U.C. An empirical study of performance characteristics of BIPV (Building Integrated Photovoltaic) system for the realization of zero energy building. *Energy* 2014, 66, 25–34.
5. Cao, V.D.; Pilehvar, S.; Salas-Bringas, C.; Szczotok, A.M.; Bui, T.Q.; Carmona, M.; Rodriguez, J.F.; Kjøniksen, A.-L. Thermal performance and numerical simulation of geopolymer concrete containing different types of thermoregulating materials for passive building applications. *Energy Build.* 2018, 173, 678–688.
6. Li, Z.; Peng, W.; Yujiao, H.; Wei, T.; Yong, S. Relationships between design parameters of see-through thin film photovoltaic facade and energy performance of office building in China cold zone. *Energy Procedia* 2018, 152, 401–406.
7. Lebied, M.; Sick, F.; Choulli, Z.; El Bouardi, A. Improving the passive building energy efficiency through numerical simulation—A case study for Tetouan climate in northern of Morocco. *Case Stud. Therm. Eng.* 2018, 11, 125–134.
8. Balali, A.; Hakimelahi, A.; Valipour, A. Identification and prioritization of passive energy consumption optimization measures in the building industry: An Iranian case study. *J. Build. Eng.* 2020, 30, 101239.
9. Sivaram, P.; Mande, A.B.; Premalatha, M.; Arunagiri, A. Investigation on a building-integrated passive solar energy technology for air ventilation, clean water and power. *Energy Convers. Manag.* 2020, 211, 112739.
10. Tariq, R.; Torres-Aguilar, C.E.; Sheikh, N.A.; Ahmad, T.; Xamán, J.; Bassam, A. Data engineering for digital twining and optimization of naturally ventilated solar façade with phase changing material under global projection scenarios. *Renew. Energy* 2022, 187, 1184–1203.
11. Liu, X.; Ge, Q.; Jiang, L.; Cui, L.; Li, B.; Du, X. Thinking on the path of total coal consumption control in China. *China Population. Resour. Environ.* 2019, 29, 160–166.
12. Tong, Z.; Chen, Y.; Malkawi, A.; Liu, Z.; Freeman, R.B. Energy saving potential of natural ventilation in China: The impact of ambient air pollution. *Appl. Energy* 2016, 179, 660–668.
13. Oropeza-Perez, I.; Østergaard, P.A. Energy saving potential of utilizing natural ventilation under warm conditions—A case study of Mexico. *Appl. Energy* 2014, 130, 20–32.
14. Stasi, R.; Ruggiero, F.; Berardi, U. The efficiency of hybrid ventilation on cooling energy savings in NZEBs. *J. Build. Eng.* 2022, 53, 104401.

15. Gilani, S.; O'brien, W. Natural ventilation usability under climate change in Canada and the United States. *Build. Res. Inf.* 2021, 49, 367–386.
16. GB51245-2017; Unified Standard for Energy Saving Design of Industrial Buildings. China Planning Press: Beijing, China, 2017.
17. GB50059-2012; 35~110 kV Substation Design Code. China Planning Press: Beijing, China, 2012.