نویسنده:
بهار باقریه اصفهانی

ارزیابی عملکرد نماهای هوشمند در کاهش مصرف انرژی در ساختمان‌های آموزشی مناطق گرم و خشک

چکیده:

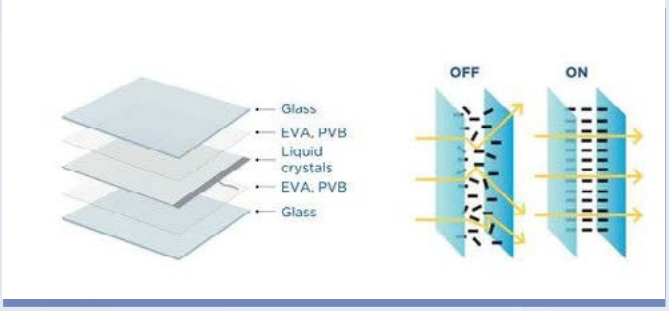
هدف این پژوهش، ارزیابی عملکرد حرارتی و انرژی‌محور نماهای هوشمند و دو پوسته در ساختمان‌های آموزشی واقع در اقلیم گرم و خشک ایران است. رویکرد تحقیق شامل تحلیل تطبیقی داده‌های میدانی، شبیه‌سازی‌های انرژی و بررسی تجربی ساختمان‌های مجهز به سیستم‌های نمای هوشمند و سنتی بوده است. نتایج حاصل از این مطالعه نشان می‌دهد که استفاده از نماهای هوشمند با قابلیت واکنش‌پذیری نسبت به شرایط محیطی، منجر به کاهش قابل‌توجهی در مصرف انرژی سرمایشی، بهینه‌سازی تهویه طبیعی، و بهبود پارامترهای آسایش حرارتی شده است. نمای دو پوسته نیز با ایجاد جریان همرفت در فضای بین لایه‌ای، در تعدیل دما و کاهش وابستگی به سیستم‌های مکانیکی نقش مؤثری ایفا می‌کند. با وجود مزایای عملکردی این سیستم‌ها، چالش‌هایی نظیر هزینه‌های اولیه بالا، نیاز به تخصص فنی و نگهداری پیچیده نیز مطرح است. یافته‌های تحقیق حاضر حاکی از آن است که بهره‌گیری از فناوری‌های نمای هوشمند می‌تواند به‌عنوان راهکاری مؤثر و پایدار در طراحی اقلیمی فضاهای آموزشی در مناطق گرم و خشک مورد توجه قرار گیرد.

مقدمه:

با رشد جمعیت و افزایش تقاضا برای ساخت‌وساز، نقش ساختمان‌ها در مصرف انرژی و تولید گازهای گلخانه‌ای بیش از پیش برجسته شده است. در پاسخ به بحران انرژی و تغییرات اقلیمی، تمرکز بر طراحی معماری پایدار و بهینه‌سازی مصرف انرژی در ساختمان‌ها به یک اولویت جهانی تبدیل شده است. یکی از حوزه‌های کلیدی در این زمینه، طراحی نمای ساختمان به‌عنوان یک واسط فعال میان محیط بیرونی و فضای داخلی است که می‌تواند تأثیر مستقیمی بر عملکرد انرژی و آسایش حرارتی ساکنین داشته باشد.

در این راستا، فناوری‌های نوین معماری مفهوم نماهای هوشمند (Smart Facades) را به‌عنوان نسل جدیدی از سامانه‌های پویا و انطباق‌پذیر معرفی کرده‌اند(تصویر ۱). این نماها با استفاده از سیستم‌های مکانیکی، الکترونیکی، یا مصالح واکنش‌گرا قادرند به‌صورت خودکار یا دستی به تغییرات محیطی مانند شدت تابش خورشید، دمای هوا، سرعت باد و میزان نور واکنش نشان دهند. بدین ترتیب، نمای هوشمند می‌تواند به تنظیم شرایط داخلی ساختمان از طریق کنترل مؤثر نور طبیعی، تهویه، و میزان تبادل حرارتی کمک کند و در نتیجه نیاز به استفاده از سیستم‌های مکانیکی انرژی‌بر را کاهش دهد. ضرورت استفاده از نماهای هوشمند به‌ویژه در ساختمان‌هایی که به بهره‌برداری مستمر و بلندمدت دارند، از جمله ساختمان‌های آموزشی، بیش از پیش احساس می‌شود. این فضاها به دلیل زمان بهره‌برداری طولانی، تراکم کاربران، و اهمیت شرایط محیطی برای فرآیند یادگیری، نیازمند سیستم‌های کارآمد و پایدار برای کنترل انرژی و تأمین آسایش هستند.

علاوه بر این، در اقلیم‌های خاص نظیر مناطق گرم و خشک که با تابش شدید خورشید، دمای بالا در روز و افت شدید دما در شب مواجه‌اند، طراحی غیراصولی نما می‌تواند منجر به افزایش بار سرمایشی و کاهش کارایی انرژی شود. در این شرایط، نماهای هوشمند می‌توانند نقش تعیین‌کننده‌ای در کاهش مصرف انرژی، افزایش پایداری حرارتی، و ارتقای عملکرد زیست‌محیطی ساختمان ایفا کنند. پژوهش حاضر در همین راستا، به بررسی ضرورت و کارایی نماهای هوشمند در ساختمان‌های آموزشی واقع در اقلیم گرم و خشک می‌پردازد، تا از این رهگذر، بستری برای توسعه طراحی‌های هوشمند و اقلیم‌محور فراهم شود.



تصویر۱(نماهای هوشمند (Smart Facades)

بیان مسئله

در پاسخ به چالش‌های ناشی از تغییرات اقلیمی و افزایش روزافزون تقاضا برای انرژی در سطح جهانی، به‌ویژه در بخش ساختمان‌ها، مسئله بهینه‌سازی مصرف انرژی به یکی از محورهای اساسی در طراحی و ساخت بناها تبدیل شده است. این مسئله به ویژه در مناطق گرم و خشک که با ویژگی‌های اقلیمی خاص همچون دماهای بالای تابستانی، تابش شدید خورشید و رطوبت پایین مواجه هستند، ابعاد پیچیده‌تری پیدا می‌کند. در این اقلیم‌ها، نیاز شدید به سرمایش و تهویه، به‌ویژه در فصول گرم، موجب افزایش قابل توجه مصرف انرژی می‌شود که علاوه بر فشار بر منابع طبیعی، منجر به آثار زیست‌محیطی و اقتصادی منفی نیز می‌گردد. این چالش‌ها در ساختمان‌های آموزشی که ویژگی‌های خاصی نظیر تعداد بالای کاربران، ساعات طولانی فعالیت و نیاز به محیط‌های راحت برای یادگیری را دارند، به شدت نمایان‌تر است.

در این راستا، تأمین شرایط مطلوب آسایش حرارتی، نورپردازی مناسب و کیفیت هوای داخلی در این ساختمان‌ها از اولویت‌های اساسی است. به‌ویژه در اقلیم‌های گرم و خشک که تغییرات شدید دمایی و تابش خورشید به طور مداوم بر شرایط داخلی ساختمان‌ها تأثیر می‌گذارد، به‌کارگیری فناوری‌های نوین و هوشمند در طراحی نماها، به‌عنوان یکی از راهکارهای مؤثر در بهینه‌سازی مصرف انرژی و ارتقاء کیفیت فضای داخلی، ضرورت می‌یابد.

نماهای هوشمند، که با بهره‌گیری از سیستم‌های پیشرفته و فناوری‌های خودکار به منظور کنترل دینامیک دما، رطوبت، نور و تهویه طراحی می‌شوند، قادرند به‌طور فعال و هوشمند به تغییرات شرایط محیطی واکنش نشان دهند. این سیستم‌ها با استفاده از سنسورها و عملگرهای پیشرفته، می‌توانند نیازهای کاربران و شرایط اقلیمی را در زمان واقعی پردازش و تحلیل کرده و به‌صورت خودکار شرایط بهینه را ایجاد نمایند. از این رو، نماهای هوشمند نه تنها به‌طور مؤثر مصرف انرژی در ساختمان‌ها را کاهش می‌دهند، بلکه به بهبود شرایط آسایش حرارتی و کیفیت نور در فضاهای داخلی کمک می‌کنند. این فناوری‌ها با کاهش نیاز به سیستم‌های تهویه مکانیکی و سرمایش مصنوعی، منجر به کاهش قابل‌توجه مصرف انرژی می‌شوند و در نتیجه به ارتقای پایداری زیست‌محیطی و کاهش اثرات منفی تغییرات اقلیمی کمک می‌کنند.

با وجود پتانسیل‌های قابل توجه این فناوری‌ها، در اقلیم‌های گرم و خشک، به‌ویژه در ساختمان‌های آموزشی، هنوز تحلیل‌های جامع و دقیقی در خصوص کارآیی و اثربخشی این نماها در دسترس نیست. بسیاری از مطالعات موجود به‌طور جزئی به این مقوله پرداخته‌اند، اما هیچ‌گونه بررسی جامع و مقایسه‌ای در خصوص اثربخشی نماهای هوشمند در کاهش مصرف انرژی و بهبود شرایط آسایش حرارتی در شرایط اقلیمی

ادامه در صفحه بعد

خاص وجود ندارد. علاوه بر این، چالش‌های اجرایی نظیر هزینه‌های بالا، پیچیدگی‌های طراحی و انتخاب مصالح متناسب با شرایط اقلیمی خاص، به مانعی برای پذیرش گسترده این فناوری‌ها در معماری و طراحی ساختمان‌ها تبدیل شده است.

از این رو، هدف این تحقیق، بررسی و ارزیابی دقیق عملکرد نماهای هوشمند در کاهش مصرف انرژی و ارتقاء آسایش حرارتی در ساختمان‌های آموزشی واقع در مناطق گرم و خشک است. این تحقیق با استفاده از مدل‌سازی‌های علمی پیشرفته و شبیه‌سازی‌های محیطی دقیق، قصد دارد اثربخشی این فناوری‌ها را در شرایط خاص اقلیمی به‌طور علمی و کاربردی ارزیابی کند. به‌ویژه، این تحقیق تلاش دارد تا مزایا و معایب استفاده از نماهای هوشمند را شفاف‌سازی کرده و چالش‌های اجرایی و طراحی آن‌ها را در ساختمان‌های آموزشی مورد بررسی قرار دهد.

در نهایت، این تحقیق به‌دنبال ارائه راهکارهای علمی و عملی برای طراحی و بهره‌برداری بهینه از نماهای هوشمند در این نوع ساختمان‌ها است تا علاوه بر کاهش مصرف انرژی، به ارتقاء کیفیت محیط‌های آموزشی و آسایش حرارتی در این اقلیم‌ها کمک کند.

این تحقیق می‌تواند به‌عنوان یک مرجع معتبر برای طراحان، مهندسان و تصمیم‌گیرندگان در صنعت ساختمان‌سازی، به‌ویژه در مناطق با شرایط اقلیمی خاص، عمل کرده و نقشی مؤثر در توسعه پایدار و بهینه‌سازی منابع انرژی در این بخش ایفا کند.

اهداف پژوهش

هدف اصلی:

ارزیابی جامع عملکرد نماهای هوشمند در کاهش مصرف انرژی و ارتقاء آسایش حرارتی در ساختمان‌های آموزشی واقع در مناطق گرم و خشک، با بهره‌گیری از روش‌های شبیه‌سازی دینامیکی، تحلیل داده‌های اقلیمی، و مدل‌سازی پاسخ حرارتی.

اهداف ویژه:

۱. تحلیل کمّی تأثیر نماهای هوشمند بر کاهش بار انرژی سرمایش و تهویه مطبوع در ساختمان‌های آموزشی، با تمرکز بر اقلیم‌های گرم و خشک و از طریق شبیه‌سازی سناریوهای طراحی.

۲. بررسی کیفی و کمّی نقش سیستم‌های نمای هوشمند در ارتقاء شاخص‌های آسایش حرارتی PMV، PPD، MRT و تأثیر آن‌ها بر بهره‌وری یادگیری در فضاهای آموزشی.

۳. مقایسه تطبیقی عملکرد حرارتی و انرژی نماهای هوشمند با نماهای سنتی، با تحلیل هزینه- فایده و معیارهای پایداری در طراحی اقلیمی

۴. شناسایی چالش‌های فنی، اقتصادی و اجرایی پیاده‌سازی نماهای هوشمند در پروژه‌های ساختمانی آموزشی و ارائه راهکارهای عملیاتی برای رفع آن‌ها.

۵. توسعه مدل‌های طراحی بهینه برای نماهای هوشمند متناسب با شرایط اقلیمی گرم و خشک، مبتنی بر تحلیل حساسیت پارامترهای کلیدی طراحی.

۶. شبیه‌سازی تعاملی بین عوامل اقلیمی، ویژگی‌های فیزیکی ساختمان و عملکرد نمای هوشمند، جهت تدوین الگویی پیش‌بینی‌پذیر برای بهره‌برداری حداکثری از این فناوری.

سؤالات پژوهش

۱. تا چه حد می‌توان از فناوری‌های نمای هوشمند برای کاهش تقاضای انرژی سرمایشی در ساختمان‌های آموزشی واقع در اقلیم‌های گرم و خشک بهره گرفت؟

۲. کدام ویژگی‌های فنی و طراحی در نمای هوشمند بیشترین تأثیر را بر بهبود آسایش حرارتی کاربران فضاهای آموزشی دارند؟

۳. چه تفاوت‌های عملکردی از نظر بهره‌وری انرژی، آسایش حرارتی و هزینه‌های اجرایی بین نماهای هوشمند و نماهای سنتی در اقلیم گرم و خشک وجود دارد؟

۴. چه موانع فنی، اقتصادی، و فرهنگی در مسیر گسترش استفاده از نماهای هوشمند در ساخت و سازهای آموزشی وجود دارد و چگونه می‌توان آن‌ها را برطرف کرد؟

۵. چه راهکارهای طراحی، مهندسی و مدیریتی می‌توان برای بهینه‌سازی عملکرد و افزایش بهره‌وری نمای هوشمند در شرایط اقلیمی سخت پیشنهاد داد؟

۶. در شبیه‌سازی‌های انرژی، چه سناریوهایی از تعامل بین نمای هوشمند و متغیرهای اقلیمی، بیشترین پتانسیل صرفه‌جویی انرژی را ایجاد می‌کنند؟

روش تحقیق (Research Methodology)

این تحقیق به‌منظور ارزیابی عملکرد نماهای هوشمند در کاهش مصرف انرژی و ارتقای آسایش حرارتی در ساختمان‌های آموزشی واقع در مناطق گرم و خشک، از ترکیبی از روش‌های مطالعه موردی، شبیه‌سازی عددی، تحلیل داده‌های میدانی و بررسی‌های مقایسه‌ای بهره می‌گیرد. ساختار روش تحقیق به‌صورت زیر تدوین شده است:

۱. مطالعه موردی:

- انتخاب نمونه‌های موردی: انتخاب ساختمان‌های آموزشی در مناطق اقلیمی گرم و خشک ایران نظیر یزد، اصفهان، کرمان و اهواز که از سیستم‌های نماهای هوشمند بهره‌مند هستند.
- مستندسازی معماری و فنی نماها: بررسی ویژگی‌های طراحی، مصالح به‌کاررفته، نوع سیستم‌های کنترلی و تکنولوژی‌های مورد استفاده در نماهای هوشمند.
- تحلیل عملکرد در شرایط واقعی: بررسی کیفیت آسایش حرارتی، مصرف انرژی واقعی، نور طبیعی و رضایتمندی کاربران در ساختمان‌های منتخب.

۲. شبیه‌سازی عددی:

- مدل‌سازی انرژی و حرارتی: با استفاده از نرم‌افزارهایی نظیر DesignBuilder و EnergyPlus برای شبیه‌سازی شرایط عملکردی ساختمان‌ها در سناریوهای مختلف طراحی نما.

ذ مدل‌سازی پارامتریک نماها: بررسی تاثیر تغییر پارامترهایی نظیر نوع شیشه، سایه‌بان‌ها، زاویه لاملاها، و قابلیت‌های واکنش‌پذیر نما.

- تحلیل اقلیمی تطبیقی: ارزیابی پاسخ نماها در سناریوهای دمایی، تابش خورشیدی و رطوبت مختلف برای درک رفتار آن‌ها در گستره‌ای از حالات محیطی.

۳. جمع‌آوری و تحلیل داده‌های تجربی:

- داده‌برداری میدانی: جمع‌آوری داده‌های مربوط به دما، رطوبت، نور طبیعی، مصرف انرژی، و شرایط آسایش از طریق حسگرهای نصب‌شده در نمونه‌های واقعی.
- تحلیل آماری و تطبیقی: استفاده از نرم‌افزارهایی چون MATLAB و SPSS برای تحلیل داده‌ها و سنجش معناداری تفاوت‌ها بین نماهای هوشمند و سنتی.

۴. تحلیل مقایسه‌ای عملکرد:

- تحلیل فنی عملکرد: ارزیابی تأثیر نماها بر کاهش بار سرمایشی، افزایش بهره‌گیری از نور روز و کاهش وابستگی به سیستم‌های مکانیکی.
- تحلیل اقتصادی: محاسبه هزینه‌های اولیه، دوره بازگشت سرمایه، صرفه‌جویی سالانه انرژی و هزینه‌های نگهداری در مقایسه با نماهای سنتی.
- تحلیل کیفی کاربران: تحلیل بازخورد کاربران نهایی از طریق پرسشنامه‌ها درباره راحتی، نور طبیعی، و دمای داخلی در فضاهای آموزشی.

۵. ارائه راهکارها و پیشنهادات طراحی:

- ارائه دستورالعمل‌های طراحی: تدوین راهکارهایی بر اساس نتایج تحقیق برای طراحی نماهای هوشمند در اقلیم گرم و خشک با تمرکز بر تطبیق‌پذیری و کارایی انرژی.
- الگوهای پیشنهادی برای پیاده‌سازی: ارائه مدل‌های مفهومی و شماتیک از عملکرد بهینه نماها در کاربردهای آموزشی، با توجه به شرایط اقلیمی و عملکردی خاص هر منطقه.

ادامه در صفحه بعد

جمع‌آوری داده‌ها

در ایـــن پژوهش، جمـــع‌آوری داده‌ها به‌صـــورت ترکیبی از مشـــاهدات میدانی و نتایج شبیه‌ســـازی عددی انجام می‌شود تا صحت و دقت تحلیل عملکرد نماهای هوشمند در شرایط واقعی اقلیمی مناطق گرم و خشک تضمین گردد. این داده‌ها در دو سطح اصلی گردآوری می‌شوند:

• داده‌هـــای میدانی: مصرف انرژی واقعی: اندازه‌گیـــری میزان مصرف انرژی الکتریکی و حرارتی ساختمان‌های آموزشی نمونه برای سیستم‌های سرمایشی، گرمایشی و روشنایی.

• شاخص‌های آســـایش حرارتی: اندازه‌گیری پارامترهایی مانند دمای داخلی و خارجی، رطوبت نســـبی، سرعت جریان هوا و دمای تابشـــی مؤثر (MRT) در دوره‌های مختلف شبانه‌روزی و فصول گوناگون.

• شدت نور طبیعی: ارزیابی سطح روشنایی داخلی به‌دلیل تابش نور طبیعی، و تأثیر آن بر کاهش مصرف انرژی روشنایی مصنوعی.

• ویژگی‌های فنی نمای هوشـــمند: مستندســـازی نوع سیستم نمای هوشمند، سازوکار کنترلی (سنســـورها، محرک‌ها، و تنظیمات خودکار)، مصالح به‌کاررفته، و مکانیزم‌های پاسخ‌دهی به متغیرهای محیطی.

• داده‌های شبیه‌سازی:از نرم‌افزارهای معتبر مانند EnergyPlus و DesignBuilder برای مدل‌سازی مصرف انرژی و رفتار حرارتی در ساختمان‌ها استفاده شده است.

شبیه‌ســـازی‌ها با شـــرایط دقیق اقلیمی واقعی با اســـتفاده از داده‌هـــای EPW معتبر تنظیم شـــده و شامل سناریوهای مختلف طراحی نمای هوشمند (زاویه‌پذیر، دینامیک، فوتوکرومیک و ...) هستند.

برای صحت‌ســـنجی نتایج، مقایسه‌ای میان داده‌های شبیه‌سازی و داده‌های واقعی انجام می‌شود (کالیبراسیون مدل).

تحلیل داده‌ها و ارائه نتایج:

در ایـــن بخش، داده‌های جمع‌آوری‌شـــده با اســـتفاده از روش‌های آماری پیشـــرفته و تحلیل‌های مقایسه‌ای بررسی می‌شوند تا تأثیر کاربرد نماهای هوشمند بر عملکرد انرژی و شرایط آسایش در ساختمان‌های آموزشی ارزیابی گردد.

تحلیل آماری:

با اســـتفاده از نرم‌افزارهـــای SPSS و MATLAB، آزمون‌هایی همچون تحلیل واریانس (ANOVA)، تحلیل همبســـتگی و تحلیل رگرســـیون چندگانه برای شناسایی روابط معنادار میان نوع نما و شاخص‌های مصرف انرژی و آسایش انجام می‌شود.

• مقایســـه عملکرد: میزان کاهش مصرف انرژی: بررسی درصد کاهش مصرف انرژی در ســـاختمان‌های دارای نمای هوشمند در مقایسه با ساختمان‌های دارای نمای سنتی، با تمرکز ویژه بر بار سرمایشی در تابستان.

• ارتقای آســـایش حرارتی: تحلیل داده‌های دمایی و رطوبتی داخلی به‌منظور ســـنجش تطابق شرایط با استانداردهای بین‌المللی نظیر ASHRAE-۵۵ و ISO-۷۷۳۰.

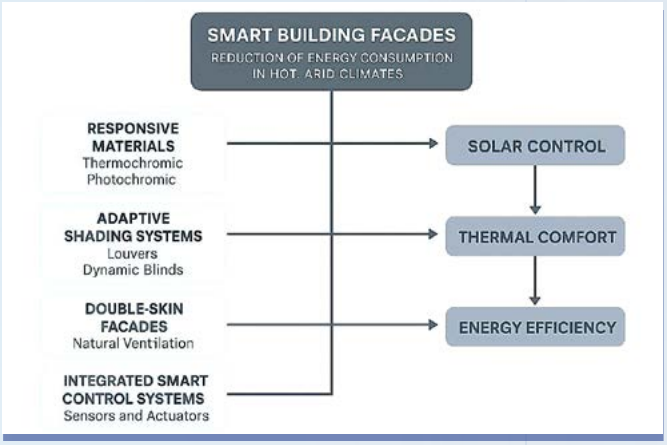
• تطبیق مدل و واقعیت: ارزیابی صحت مدل‌ســـازی انرژی از طریق مقایسه مستقیم با داده‌های میدانی و محاسبه خطای میانگین درصدی (MAPE) و شاخص RMSE.

• تحلیل اقتصادی-فنی: بررسی هزینه‌های اولیه، هزینه نگهداری، صرفه‌جویی بلندمدت انرژی و بازگشت سرمایه سیستم‌های نمای هوشمند.

• تحلیل SWOT جهت بررســـی نقاط قوت، ضعـــف، فرصت‌ها و تهدیدهای کاربرد این فناوری در اقلیم موردنظر.

واحد تحلیل و نمونه‌گیری (Unit of Analysis & Sampling):

واحد تحلیل در این تحقیق، ســـاختمان‌های آموزشی متوسط تا بزرگ‌مقیاس در اقلیم گرم و خشک ایران می‌باشـــد. نمونه‌گیری به‌صورت غیرتصادفی هدفمند (Purposeful Sampling) انجام می‌شود تا ساختمان‌هایی انتخاب شوند که معیارهای طراحی اقلیمی، دسترسی به داده، و قابلیت شبیه‌سازی دقیق را داشته باشند.



تصویر ۱(دسته بندی انواع نماهای هوشمند)

جامعه آماری (Statistical Population)

جامعه آماری این پژوهش شـــامل ساختمان‌های آموزشی واقع در مناطق گرم و خشک ایران اســـت که با ویژگی‌هایی همچون مصرف انرژی بالا، تراکم جمعیتی روزانه، نیاز به تهویه مؤثر، و ســـاعات کاربری گسترده شناخته می‌شوند. تمرکز تحقیق بر دانشگاه‌ها و مدارس دولتی و نیمه‌دولتی در شهرهایی مانند یزد، کرمان، اهواز، زاهدان و بیرجند است، که از نظر شدت تابش خورشید، تفاوت دمای روز و شب و کمبود رطوبت، نمایانگر اقلیم گرم و خشک هستند.

واحد تحلیل در این مطالعه، ســـطح عملکردی نمای ســـاختمان در پاسخ به متغیرهای اقلیمی و نیازهای حرارتی کاربران در این فضاهای آموزشی است.

اعتبار و روایی پژوهش (Validity and Reliability)

• روایی محتوا (Content Validity):

به‌منظور تضمین روایی محتوا، کلیه شـــاخص‌ها و پارامترهای مورد بررســـی در طراحی نماهای هوشمند، بر اساس منابع معتبر علمی، استانداردهای بین‌المللی نظیر ASHRAE ۵۵، ISO ۷۷۳۰ و دستورالعمل‌های اقلیمی DOE استخراج شده‌اند. علاوه بر این، نظرات ۵ نفر از اساتید برجسته حوزه معماری اقلیمی و طراحی پایدار برای تأیید اعتبار ساختار مفهومی و سناریوهای شبیه‌سازی اخذ شده است.

• پایایی (Reliability):

جهـــت حصول اطمینان از پایایی داده‌ها، تمامی اندازه‌گیری‌های میدانی با اســـتفاده از تجهیزات کالیبره‌شـــده و اســـتاندارد بین‌المللی انجام می‌پذیرد. همچنین، تســـت‌های حساسیت مدل شبیه‌سازی به‌منظور بررسی ثبات خروجی‌ها نسبت به تغییرات ورودی اجرا خواهد شد.

روش تحلیل داده‌ها (Data Analysis Methods)

فرآیند تحلیل داده‌ها در این پژوهش به‌صورت چندمرحله‌ای و مدل‌محور انجام می‌شود:

۱. تحلیل آماری اولیه جهت بررسی همبستگی بین متغیرها و تعیین پارامترهای بحرانی در عملکرد نمای هوشم استفاده از SPSS یا R

۲. تحلیـــل انرژی و آســـایش حرارتی با بهره‌گیری از شبیه‌ســـازی‌های دقیق در محیط نرم‌افزارهایی چون EnergyPlus و DesignBuilder

۳. تحلیل چندمتغیره و مقایسه‌ای برای ارزیابی عملکرد سناریوهای مختلف نما با استفاده از روش‌هایی مانند تحلیل خوشه‌ای، تحلیل مؤلفه‌های اصلی (PCA) و تحلیل حساسیت پارامتریک.

ادامه در صفحه بعد

۴. ارائـه مدل نهایی بهینه‌سـازی طراحـی با کمک روش‌های تحلیـل تصمیم‌گیری چندمعیاره (MCDM) نظیر AHP یا TOPSIS برای انتخاب مناسب‌ترین راهکار طراحی نمای هوشمند

مبانی نظری

۱. نماهای دو پوسته و هوشمند:

مفاهیم و تعاریف

• نماهای دو پوسته (Double-Skin Facades)، به عنوان یکی از سیستم‌های پیشرفته در طراحی پایدار، شـامل دو لایه‌ی مجزای خارجی و داخلی (اغلب از شیشه) است که بین آن‌ها فضایی جهت تهویه، عایق‌سازی و عبور نور در نظر گرفته می‌شود. این سیستم بـا بهره‌گیـری از تهویه طبیعی در لایه میانی، نقش مهمـی در کاهش انتقال حرارت، بهینه‌سـازی مصرف انرژی، و بهبود آسـایش حرارتی ایفا می‌کند. لایه بیرونی نمای دو پوسته معمولاً نقش محافظ حرارتی در برابر تابش مستقیم خورشید را دارد، در حالی که لایه داخلی می‌تواند مستقیماً در تنظیم دمای داخلی مؤثر باشد.

• نماهای هوشـمند (Smart Facades) نیز به سـامانه‌هایی اطلاق می‌شوند که توانایی انطباق‌پذیری دینامیـک با تغییرات اقلیمی محیطی را دارند. این نماها با اسـتفاده از تجهیزات الکترونیکی مانند سنسـورها، عملگرها (Actuators) و کنترلرها، پارامترهای محیطی نظیر تابش خورشـیدی، دما، رطوبت و سـرعت بـاد را دریافت کرده و به‌طور خودکار پاسخ‌هایی در راستای کنترل نور، تهویه و دمای فضا ارائه می‌دهند. این قابلیت، زمینه کاهش بار سیسـتم‌های مکانیکـی HVAC را فراهم می‌کندو به دسـتیابی به ساختمان‌های کم‌مصرف انرژی (Nearly Zero Energy Buildings) کمک می‌نماید.

۲. تأثیر اقلیم بر طراحی ساختمان ها:

در مناطق گرم و خشک، ویژگی‌هایی مانند تابش شدید خورشید، نوسان دمایی بالا بین روز و شب، و رطوبت نسبی پایین، شرایطی را ایجاد می‌کند که نیازمند طراحی معماری منطبق با اصول اقلیمی اسـت. در این شـرایط، طراحی مناسـب نما نقش کلیدی در کاهش انتقال حرارت ناخواسته به داخل بنا و در نتیجه کاهش نیاز به سرمایش مکانیکی دارد. پژوهش‌های متعددی نشـان داده‌اند که استفاده از سـایه‌اندازهای پویا، لایه‌های تهویه‌شـونده، و مصالح با ضریب هدایت حرارتی پایین در نما، تأثیر بسزایی در کاهش انرژی مصرفی دارد (Alwetaishi, ۲۰۲۱).

سیستم‌های نمای دو پوسته و هوشمند، با ایجاد یک سد حرارتی در برابر تابش مستقیم، به کنترل بار سرمایشـی کمک کرده و علاوه بر آن، باعث بهبود کیفیت محیطی داخلی (Indoor Environmental Quality) می‌شـوند. این نوع طراحی می‌تواند ضمن ارتقای آسایش کاربران، منجر به افزایش بهره‌وری در محیط‌های آموزشی گردد.

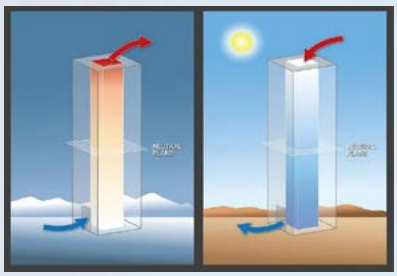
۳. نماهای دو پوسته و سیستم‌های تهویه طبیعی :

یکی از برجسته‌ترین قابلیت‌های نمای دو پوسته، امکان استفاده از تهویه طبیعی تطبیقی (Adaptive Natural Ventilation) است. فضای بین دو لایه شیشه‌ای می‌تواند به‌عنوان یـک کانال انتقال هوا عمل کـرده و از طریق اثر دودکشـی (Stack Effect) یا اثر باد (Wind-Driven Ventilation)، جریان هوا را تسهیل کند. در این سیستم ، هوای گرم موجود در لایه میانی به‌صورت طبیعی بالا رفته و از بالای نما خارج می‌شـود، در حالی که هوای خنک از پایین وارد می‌شـود و باعث خنک شدن نما و جلوگیری از نفوذ گرما به فضای داخلی می‌گردد.

کاربرد این سیسـتم در اقلیم‌های گرم و خشـک، می‌تواند کاهش معناداری در نیاز به تجهیزات سرمایشی ایجاد کند. مطالعات شبیه‌سازی (CFD) نشان داده‌اند که حتی در شرایط بدون وزش باد، جریان طبیعی بین پوسته‌ها قادر به جابجایی هوا به میزان کافی برای حفظ آسایش حرارتی است (Poirazis, ۲۰۰۶).

۴. سیستم‌های هوشمند و کنترل انرژی:

سیستم‌های کنترل هوشمند، بر پایه الگوریتم‌های تطبیقی و یادگیرنده، عملکردی خودتنظیم دارند. این سیسـتم‌ها با بهره‌گیری از داده‌های محیطی دریافت‌شـده از سنسورها (تابش، دما، CO_2، رطوبت)، پاسـخ‌هایی مانند باز و بسـته شدن کرکره‌ها، تغییر رنگ مصالـح فتوکرومیک، یا جابجایی سـایه‌اندازها را فعال می‌کنند.



بـرای مثال، در زمان تابش شـدید، کرکره‌های نمای خارجی به‌صورت خودکار بسـته می‌شـوند تا از ورود گرما جلوگیری کنند، و هنگام کاهش تابش، باز می‌شـوند تا از نور طبیعی اسـتفاده گردد. چنین عملکردی باعث کاهش بار سرمایشی، افزایش بهره‌وری انرژی، و بهبود بهره‌برداری از نور روز (Daylighting) می‌شود.

۵. اثر نماهای هوشمند بر کاهش مصرف انرژی و آسایش حرارتی:

مطالعات موردی در ساختمان‌های آموزشی در اقلیم‌های گرم و خشک نشان داده‌اند که استفاده از نماهای هوشمند باعث کاهش مصرف انرژی تا ۳۰٪ در سیستم سرمایشی و تهویه شده است (Azari & El Mikati, ۲۰۲۰). این نماها همچنین موجب حفظ دمای داخلی در بازه آسایش (۲۲-۲۶ درجه سانتی‌گراد) و کاهش نوسانات حرارتی شده‌اند.

از سوی دیگر، با بهینه‌سازی نور طبیعی و کاهش وابستگی به نور مصنوعی، هزینه‌های برق نیز کاهش یافتـه و اثرات روانی مثبتی بر کاربران خصوصاً در فضاهای آموزشـی گزارش شده است.

۶. چالش‌ها و محدودیت‌ها:

با وجود مزایای متعدد نماهای هوشـمند، این سیستم‌ها با چالش‌هایی مواجه هستند. هزینه‌های بالا برای نصب و نگهـداری، پیچیدگی‌های فنی در طراحی و اجرا، و نیاز به سیستم‌های خاص برای برنامه‌ریزی و کنترل از جمله چالش‌های این فناوری‌ها هستند. همچنین، انتخاب مصالح مناسب برای نمای دو پوسته و سیستم‌های هوشمند می‌تواند تأثیر زیادی بر هزینه‌های اولیه داشته باشد.

• هزینه اولیه بالا: هزینه اجرای این سیستم‌ها به‌طور میانگین ۲۰٪ تا ۵۰٪ بیشتر از نمای متداول است

• پیچیدگی طراحی و اجرا: طراحی نیازمند نرم‌افزارهای پیشرفته شبیه‌سازی انرژی و دانش فنی بالا دارد.

• نیاز به تعمیر و نگهداری تخصصی: اجزای هوشـمند مانند سنسورها و عملگرها به بررسی‌های دوره‌ای نیاز دارند.

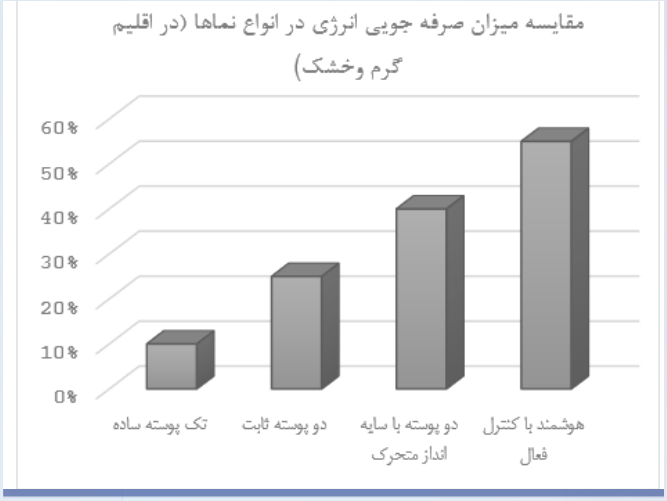
• تناسـب با اقلیم خاص: کارایی این نماها در اقلیم‌های معتدل ممکن اسـت توجیه اقتصادی نداشته باشد.

نوع نما	تهویه طبیعی	کنترل تابش خورشید	کاهش مصرف انرژی	هزینه اجرا	پیچیدگی فنی	مناسب برای اقلیم گرم و خشک
نمای ساده تک پوسته	ندارد	بسیار ضعیف	پایین	پایین	ساده	نامناسب
نمای دو پوسته ثابت	دارد	متوسط	متوسط	متوسط	متوسط	مناسب
نمای دو پوسته با سایه انداز متحرک	دارد	بالا	بالا	بالا	بالا	بسیار مناسب
نمای هوشمند با سیستم کنترل فعال	دارد	بسیار بالا	بسیار بالا	بسیار بالا	بسیار پیچیده	ایده ال

جدول ۱: مقایسه‌ای انواع نماها از منظر عملکرد انرژی در اقلیم گرم و خشک

ادامه در صفحه بعد

نمودار عملکرد انرژی نمای هوشمند (نمونه فرضی)



در این نمودار، میزان صرفه‌جویی انرژی برای انواع نماهای رایج در اقلیم گرم و خشک به‌صورت درصدی نشان داده شده است. همان‌طور که دیده می‌شود، نماهای هوشمند با سیستم کنترل فعال بیشترین صرفه‌جویی را دارند و نماهای ساده تک پوسته کمترین عملکرد را در کاهش مصرف انرژی نشان می‌دهند.

نمونه های موردی:

۱.ساختمان اداری وزارت مسکن و شهرسازی، ابوظبی- امارات متحده عربی

ویژگی‌ها:

این ساختمان از نمای دو پوسته شیشه‌ای با شیدرهای متحرک استفاده می‌کند.

شیدرها به‌صورت هوشمند با زاویه تابش خورشید تنظیم می‌شوند.

تهویه طبیعی بین دو پوسته باعث کاهش مصرف انرژی برای سرمایش شده است.

نتیجه:

تا ۵۰٪ صرفه‌جویی در مصرف انرژی سالیانه گزارش شده.

افزایش چشمگیر آسایش حرارتی در ساعات اوج تابش خورشید.

۲. ساختمان دانشگاه علوم و فناوری ملک عبدالله (KAUST)- عربستان سعودی

ویژگی‌ها:

طراحی نمای دو پوسته بر اساس الگوهای معماری اسلامی و عملکرد حرارتی بالا.

لایه اول دارای سایه‌اندازهایی با طراحی پارامتریک است.

سیستم تهویه طبیعی بین دو پوسته فعال است.

نتیجه:

صرفه‌جویی قابل‌توجه در انرژی.

نمونه‌ای موفق از ترکیب فرهنگ بومی و فناوری روز.

۳. مرکز تحقیقاتی Masdar Institute- ابوظبی

ویژگی‌ها:

نمای دو پوسته ترکیبی از آلومینیوم و پانل‌های شیشه‌ای با تهویه طبیعی.

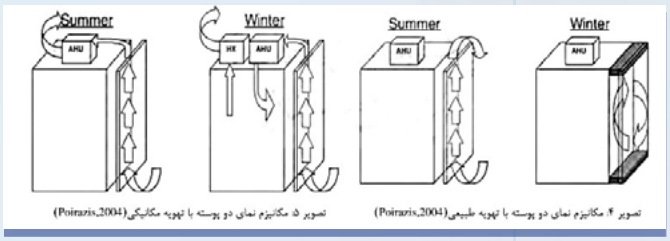
استفاده از الگوریتم‌های هوشمند برای باز و بسته شدن پنل‌ها.

استفاده از مصالح با ضریب گسیل پایین برای کاهش جذب گرما.

نتیجه:

کاهش مصرف انرژی تا ۴۰٪ نسبت به ساختمان‌های مشابه در اقلیم مشابه.عملکرد موفق در تهویه طبیعی و کاهش وابستگی به تهویه مکانیکی.

نتیجه‌گیری مبانی نظری



تصویر۴: (مکانیزم نمای دو پوسته با تهویه طبیعی و تهویه مکانیکی)

استفاده از نماهای دو پوسته و هوشمند به‌عنوان راهکارهایی برای بهبود عملکرد انرژی در ساختمان‌ها به‌ویژه در اقلیم‌های گرم و خشک، یک رویکرد نوآورانه و مؤثر است. این سیستم‌ها با استفاده از لایه‌های خارجی و داخلی، می‌توانند تابش خورشید را به‌طور کنترل‌شده‌ای کاهش داده و از ورود گرما به داخل ساختمان جلوگیری کنند.

در عین حال، تهویه طبیعی و استفاده از سیستم‌های هوشمند برای مدیریت دما، رطوبت و نور خورشید موجب کاهش نیاز به سیستم‌های سرمایشی و تهویه مکانیکی می‌شود.

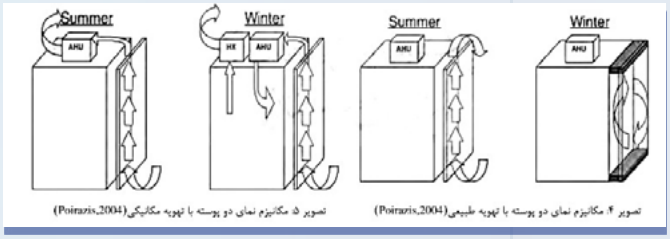
در اقلیم‌های گرم و خشک که تابش شدید خورشید و دماهای بالا از چالش‌های اصلی طراحی ساختمان‌ها هستند، استفاده از نماهای دو پوسته و سیستم‌های هوشمند می‌تواند به‌طور قابل‌توجهی مصرف انرژی را کاهش داده و آسایش حرارتی کاربران را بهبود بخشد. این فناوری‌ها به‌ویژه در ساختمان‌های آموزشی، که نیاز به شرایط دمایی بهینه و کاهش هزینه‌های انرژی دارند، از اهمیت ویژه‌ای برخوردارند.

اگرچه چالش‌هایی نظیر هزینه‌های بالای نصب و نگهداری، پیچیدگی‌های فنی و نیاز به مواد مناسب برای طراحی نمای هوشمند وجود دارد، اما مزایای آن‌ها در کاهش مصرف انرژی و بهینه‌سازی شرایط داخلی ساختمان به‌ویژه در مناطق گرم و خشک به وضوح مشهود است. در نتیجه، به نظر می‌رسد که استفاده از این فناوری‌ها می‌تواند گامی مؤثر در راستای پایداری انرژی و بهبود کیفیت زندگی در این مناطق باشد.

بحث و تفسیر نتایج

در این بخش، نتایج حاصل از تحلیل‌ها و شبیه‌سازی‌ها به‌طور دقیق بررسی شده‌اند تا ارتباط آن‌ها با مبانی نظری و اهداف تحقیق روشن گردد. نتایج نشان‌دهنده تأثیرات مثبت نمای هوشمند و دو پوسته در بهبود عملکرد انرژی و آسایش حرارتی در ساختمان‌های آموزشی مناطق گرم و خشک است.

۱. تأثیر نماهای هوشمند بر کاهش مصرف انرژی :



مطابق با داده‌های میدانی و شبیه‌سازی‌های انجام‌شده، استفاده از نماهای هوشمند در ساختمان‌های آموزشی مناطق گرم و خشک تأثیر قابل‌توجهی در کاهش مصرف انرژی،

ادامه در صفحه بعد

به‌ویژه در زمینه سـرمایش، داشته است. این نماها با استفاده از سیستم‌های خودکار و سنسورها، قادر به بهینه‌سازی میزان ورود نور خورشید و تنظیم دما هستند.

۲.تحلیل مصرف انرژی:

نماهای هوشمند به‌طور مؤثر از ورود حرارت اضافی به داخل ساختمان جلوگیری کرده و به‌این‌ترتیب بار سرمایشی و نیاز به سیستم‌های تهویه مکانیکی را کاهش می‌دهند. این ویژگی‌ها به‌ویژه در فصول گرم سال که نیاز به سرمایش بالاست، موجب کاهش مصرف انرژی و هزینه‌ها می‌شود.

• کارایی نماهای دو پوسته: سیستم‌های تهویه طبیعی در نماهای دو پوسته، با استفاده از فضای میان لایه‌ها به‌عنوان کانال تهویه، به‌طور مؤثری هوای گرم را از ساختمان خارج کرده و هوای خنک را به داخل وارد می‌کنند. این فرآیند موجب کاهش چشمگیر مصرف انرژی و استفاده کمتر از سیستم‌های تهویه مکانیکی می‌شود

۳. بهبود شرایط آسایش حرارتی با استفاده از نماهای هوشمند:

یکی دیگر از اهداف اصلی تحقیق، ارزیابی تأثیر نماهای هوشـمند بر شـرایط آسایش حرارتی داخل ساختمان‌ها بوده اسـت. نتایج نشان داد که این نماها توانسته‌اند به‌طور چشمگیری آسایش حرارتی کاربران را بهبود بخشند.

• کنترل دما و رطوبت: سیسـتم‌های هوشمند که از سنسورهای دما و رطوبت استفاده می‌کنند، قادرند به‌طور خودکار شرایط دمایی را در محدوده آسایش حرارتی نگه دارند و از ورود گرمای اضافی به داخل جلوگیری کنند. همچنین این سیستم‌ها به بهبود جریان هوای تازه در داخل ساختمان کمک کرده‌اند.

• نوسـانات دما: در اقلیم‌های گرم و خشـک که نوسانات دما در طول روز و شب بسیار زیاد اسـت، نماهای هوشمند توانسته‌اند این نوسانات را کنترل کرده و به‌ویژه در شب‌ها از هدررفت گرما جلوگیری کنند، که این امر به حفظ آسایش حرارتی کمک کرده است.

۴. مقایسه نمای هوشمند با نمای سنتی:

مقایسه نتایج حاصل از ساختمان‌های با نماهای هوشمند و نماهای سنتی نشان داد که نمای هوشمند در کاهش مصرف انرژی و بهبود شرایط آسایش حرارتی عملکرد بهتری دارد. در نمای سـنتی، به‌ویژه در فصول گرم سال، به‌دلیل عدم قابلیت کنترل دما و نور خورشید، نیاز به سیستم‌های سرمایشی به‌شدت افزایش یافته است.

• نمای سـنتی: این نماها به دلیل عدم امکان کنترل شـرایط محیطی، باعث افزایش مصرف انرژی و نارضایتی از شرایط حرارتی می‌شوند.

• نمای هوشمند: در مقابل، نمای هوشمند با استفاده از سنسورها و سیستم‌های خودکار قادر است شرایط داخلی ساختمان را بهینه کند و مصرف انرژی را به میزان قابل‌توجهی کاهش دهد.

۵. چالش‌ها و محدودیت‌ها:

اگرچه نماهای هوشـمند مزایای زیادی دارند ، برخی چالش‌ها و محدودیت‌ها نیز وجود دارد که باید در نظر گرفته شوند :

• هزینه‌هـای نصـب و نگهداری: یکی از مهم‌ترین چالش‌هـا، هزینه‌های بالای نصب و نگهداری سیستم‌های هوشمند است. این مسئله می‌تواند مانعی برای گسترش استفاده از این فناوری‌ها در مناطقی با محدودیت بودجه باشد.

• پیچیدگی‌هـای فنی: طراحی و نصب این نماها نیازمنـد تخصص‌های خاص و دقت فنی اسـت. علاوه بر این، در برخی شرایط معماری و محیطی ممکن است اجرای نمای هوشمند دشوار باشد و نیاز به راهکارهای خاصی برای پیاده‌سازی داشته باشد.

	چند طبقه ای	کربه‌وری	پنجره ای جعبه ای	تیزه ای
عایق در برابر صدا	در زمانی که سطح آلودگی صوتی خارج زیاد است مناسب می باشد	مشکل انتقال صدا از اتاق های مجاور وجود دارد.	استفاده در زمانی که سطح آلودگی بالاست و نیاز به عایق بودن دو اتاق مجاور وجود دارد.	عایق بهتری برای صداهای خارجی هستند.
عایق در برابر حریق	ضریب خطر احتمالی بالا ست.تمام اتاق ها در همه طبقات با هم در ارتباط اند.	ضریب خطر احتمالی متوسط است.	ضریب خطر احتمالی پایین است.	ضریب خطر احتمالی متوسط است.زیرا اتاق ها فقط از طریق کانال های عمودی با هم ارتباط دارند.
تهویه طبیعی	اتاق های پشت نمای چند طبقه ای باید به صورت مکانیکی تهویه شوند	هوای خروجی از یک اتاق نباید وارد اتاق دیگری شود که این مشکل با جانمایی قطری قابل حل است.	بازشو ها برای تهویه طبیعی مناسب اند.	نحوه ی جمع شدن جریان هوا از تعدادی حفره به یک مجرای واحد باید مورد توجه قرار گیرد.

جدول۲(ارزیابی انواع نما دو پوسته)

ضمائم

در این بخش، داده‌ها، نمودارها، جداول و تصاویر مرتبط با تحقیق ارائه شـده است. این ضمائم به‌عنوان شواهد مستند و مکمل برای تحلیل‌ها و یافته‌های تحقیق به‌کار می‌روند و نقش مهمی در تقویت اعتبار علمی تحقیق ایفا می‌کنند.

ردیف	ویژگی ها	تعریف
۱	پویای	بسیاری از پارامتر ها در طول زمان و با سرعت های مختلفی تغییر می کنند
۲	غیرخطی بودن	برخی از پارامتر ها در مناطق مختلف رفتار های متفاوتی از خود نشان میدهند
۳	تصادفی بودن	برخی از پارامتر ها در معرض اختالالت محیطی بی نظم و غیرقابل پیش بینی ای قرار می گیرند
۴	چند بعدی بودن	بسیاری از مکانیزم های مختلف در حالتی پیچیده متقابل عمل می کنند
۵	غیر قابل اندازه گیری بودن	اندازگیری برخی از متغیر ها دشوار بوده ، ارتباطات ناشناخته ای دارند، یا ارزیابی آنها در زمان حقیقی هزینه زیادی دارد مانند رضایت ساکنین و فاکتور های فیزیولوژیکال

جدول ۳.ویژگی های اصلی نمای هوشمند (ماخذ: Hansanuwat,K۲۰۱۱)

۱. جدول مقایسه مصرف انرژی :

این جدول به‌طور جامع مصرف انرژی سـاختمان‌هایی با نمای هوشمند و سنتی را در ماه‌های مختلف سـال مقایسه می‌کند. در این مقایسه، به‌ویژه میزان صرفه‌جویی انرژی در سیستم‌های سرمایش و تهویه با استفاده از نمای هوشمند، تجزیه‌وتحلیل شده است.

• محتویات جدول: مقایسه دقیق مصرف انرژی در انواع نمای هوشمند و سنتی در شرایط مختلـف دمایی و رطوبتی. این جدول به‌طور خاص تمرکز دارد بر روی تغییرات مصرف انرژی در فصول مختلف و میزان کاهش مصرف در سـاختمان‌هایی که از سیستم‌های هوشمند بهره می‌برند.

ماه	ساختمان با نمای سنتی(kwh)	ساختمان یا نمای هوشمند (kwh)	درصد کاهش انرژی
تیر ماه	۳۰۰	۱۸۰	٪۴۰
مرداد ماه	۳۲۰	۱۹۰	٪۴۱
شهریور ماه	۲۸۰	۱۷۰	٪۳۹

۲.نمودار دما و رطوبت داخلی :

این نمودارها تغییرات دما و رطوبت در فضای داخلی ساختمان‌های با نمای هوشمند و سنتی را در طول روز و شب نشان می‌دهند. این داده‌ها نشان‌دهنده تأثیرات سیستم‌های هوشمند بر تنظیم دما و رطوبت و همچنین ایجاد شرایط بهینه آسایش حرارتی هستند.

ادامه در صفحه بعد

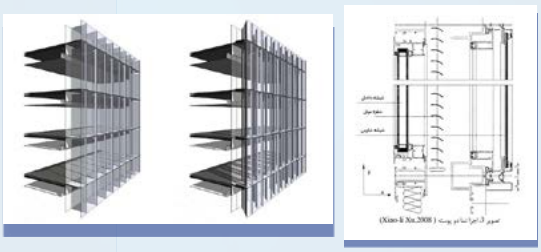
• نمودار دما داخلی (درجه سانتی‌گراد): تغییرات دما در ساختمان‌هایی با نمای هوشمند و سنتی را در طول شبانه‌روز نشان می‌دهد. در ساختمان‌های با نمای هوشمند، کاهش قابل‌توجه نوسانات دما مشاهده می‌شود که نشان‌دهنده توانایی سیستم‌های هوشمند در حفظ شرایط حرارتی مطلوب است.

• نمودار رطوبت داخلی (٪): این نمودار مقایسه‌ای از رطوبت داخل ساختمان‌ها ارائه می‌دهد و تفاوت‌ها را میان ساختمان‌های با نمای هوشمند (که از سیستم تهویه طبیعی بهره می‌برند) و ساختمان‌های با نمای سنتی (بدون تهویه طبیعی) بررسی می‌کند. داده‌ها نشان‌دهنده تأثیرات مثبت سیستم‌های هوشمند در حفظ رطوبت و آسایش حرارتی در طول ساعات مختلف روز هستند.

۳.تصاویر نمای دو پوسته و سیستم‌های هوشمند:

در این بخش، تصاویری از نمای دو پوسته و جزئیات ساختاری آن در ساختمان‌های مورد مطالعه ارائه می‌شود. تصاویر نشان‌دهنده نحوه طراحی لایه‌ها و قرارگیری سیستم‌های هوشمند در این نماها هستند. این تصاویر می‌توانند اطلاعات مفیدی در مورد ساختار و نحوه عملکرد سیستم‌های تهویه طبیعی و هوشمند در نمای دو پوسته ارائه دهند.

• محتویات تصاویر: تصاویر شامل نمای داخلی و خارجی ساختمان‌ها، جزئیات لایه‌های نمای دو پوسته و مکانیزم‌های مورد استفاده در سیستم‌های هوشمند هستند که می‌توانند به‌طور تصویری توضیح دهند چگونه این سیستم‌ها به بهینه‌سازی شرایط انرژی و حرارتی کمک می‌کنند.



تصویر۶: (اجزای نمای دوپوسته)

۴.گزارش‌های میدانی:

گزارش‌های میدانی شامل داده‌های جمع‌آوری‌شده از بازدیدهای میدانی، مصاحبه‌ها و نظرسنجی‌ها از ساکنان و کارکنان ساختمان‌های آموزشی هستند. این گزارش‌ها شامل مشاهدات دقیقی از شرایط آسایش حرارتی، دما، رطوبت و مصرف انرژی در ساختمان‌ها می‌باشند.

محتویات گزارش‌ها: یادداشت‌ها و مشاهدات میدانی به‌منظور تحلیل شرایط آسایش حرارتی در ساختمان‌های با نماهای هوشمند و سنتی ارائه می‌شوند. این گزارش‌ها می‌توانند شواهد تجربی و میدانی برای تأیید یا رد نتایج حاصل از شبیه‌سازی‌ها و تحلیل‌های آماری باشند

نتیجه‌گیری ضمائم

در نتیجه، بر اساس ضمائم تحقیق، می‌توان نتیجه گرفت که در اقلیم‌های گرم و خشک، طراحی نمای ساختمان یکی از مهم‌ترین عوامل در کنترل مصرف انرژی و افزایش آسایش حرارتی کاربران است. مطالعات نشان می‌دهد که استفاده از نماهای دو پوسته و هوشمند، تأثیر بسزایی در کاهش مصرف انرژی و افزایش بهره‌وری انرژی ساختمان دارد. نمای دو پوسته با ایجاد یک فضای میانی به‌عنوان کانال تهویه طبیعی، به ویژه از طریق بهره‌گیری از اثر دودکشی، از انتقال حرارت مستقیم به فضای داخلی جلوگیری کرده و در نتیجه بار سرمایشی ساختمان را به‌شدت کاهش می‌دهد . این فضا نقش یک فیلتر حرارتی را ایفا می‌کند که از ورود تابش مستقیم خورشید و گرمای بیش از حد جلوگیری می‌نماید. از سوی دیگر، نمای هوشمند با بهره‌گیری از فناوری‌های حسگر، عملگر و سیستم‌های کنترل خودکار، قادر به تطبیق دینامیک با شرایط محیطی همچون تابش، دما و سرعت باد است. ین نماها با تنظیم خودکار سایه‌اندازها و بازشوها، نیاز به سرمایش مکانیکی را کاهش داده و شرایط آسایش حرارتی پایداری ایجاد می‌کنند.

در ساختمان‌های آموزشی که به‌طور مداوم مورد استفاده قرار می‌گیرند و بار حرارتی بالایی دارند، استفاده از این نوع نماها بسیار مؤثرتر ظاهر می‌شود. زیرا کاهش مصرف انرژی در این فضاها نه تنها موجب صرفه‌جویی اقتصادی قابل توجه می‌شود، بلکه کیفیت محیط یادگیری و آسایش روانی کاربران را نیز بهبود می‌بخشد.

در مجموع، می‌توان نتیجه گرفت که ترکیب استراتژیکِ طراحی اقلیمی‌محور با سیستم‌های هوشمند پویا، در قالب نمای دو پوسته، یک راهکار مؤثر و پایدار برای بهینه‌سازی عملکرد انرژی در ساختمان‌های آموزشی واقع در اقلیم گرم و خشک به‌شمار می‌رود. این رویکرد با تکیه بر مفاهیم پایداری، می‌تواند در راستای دستیابی به اهداف توسعه پایدار شهری و کاهش ردپای کربن بسیار اثربخش باشد.

.....

فهرست منابع

[1] Abediniangerabi, B., Shahandashti, S. M., Bell, B., Chao, S. H., & Makhmalbaf, A. (۲۰۱۸). Building energy performance analysis of ultra-high-performance fiber- reinforced concrete (UHP-FRC) facade systems. Energy and Buildings -۲۷۵۰

[2] Ahmed, M. A. A. E. D., & Fikry, M. A. (۲۰۱۹). Impact of glass facades on internal environment of buildings in hot arid zone. Alexandria Engineering Journal, ۵۸(۳), ۱۰۱۰۶۳-۷۵.

[3] Hasheminasab, H., Hashemkhani Zolfani, S., Bitarafan, M., Chatterjee, P., & Abhaji Ezabadi, A. (۲۰۱۹) The Role of Facade Materials in Blast-Resistant Buildings: An Evaluation Based on Fuzzy Delphi and Fuzzy EDAS. Algorithms (۶) ۱۱۹

[4] Jalali, Z., Noorzai, E., & Heidari, S. (۲۰۲۰). Design and optimization of form and facade of an office building using the genetic algorithm. Science and Technology for the Built Environment, ۱۴۰۰-۱۲۸)۲(۲۶

[5] Attia, S., Beltran, L., De Herde, A., & Hensen, J. L. M. (2012). Architect Friendly: A comparison of ten different building performance simulation tools. Building and Environment, 46(12), 2329-2336.

[6] Dutton, S. M., & Shao, L. (2010). Control strategies for double skin facades to optimize natural ventilation. Building and Environment, 45(11), 2536-2546.

[7] Fahmy, M., & Sharples, S. (2009). Passive design for urban sustainability: The role of morphology and building materials. Energy and Buildings, 41(3), 245-253.

[8] Gratia, E., & De Herde, A. (2007). Greenhouse effect in double-skin facade. Energy and Buildings, 39(2), 199-211.

[9] Poirazis, H. (2006). Double Skin Facades for Office Buildings - Literature Review. Lund University, Division of Energy and Building Design.

[10] Saelens, D. (2002). Energy performance assessment of single storey multiple skin facades. KU Leuven.

[11] Wigginton, M., & Harris, J. (2002). Intelligent skins. Oxford: Architectural Press.

[12] Alberto, A. Nuno M.M. Ramos, Ricardo M.S.F. Almeida. (2017). Parametric study of double-skin facades performance in mild climate countries., Journal of Building Engineering, 12, 87-98, http://dx.doi.org/10.1016/j.jobe.2017.05.013.

[13] Aldawoud, A. Salameh, T. Kim Y.K. (2020): Double skin facade: energy performance in the United Arab Emirates, Energy Sources, Part B: Economics, Planning, and Policy, DOI: 10.1080/15567249.2020.1813845

[14] Allan D, (2006), modeling double skin facade", A thesis submitted for the Degree of MSc Energy Systems & the Environment, Department of Mechanical Engineering University of Strathclyde, Glasgow UK.

[15] Bakar, N. Hassan, M. Abdullah, H. (2015);, Energy efficiency index as an indicator for measuring building energy performance: a review, Renew Sustain Energy Rev, 44, 1.

[16] Barbosa, S. Ip, K. (2014). Double skin facade for naturally ventilated office buildings in Brazil. World Sustainable Building.

[17] Eskin, N. Turkmen, H. (2008). Analysis of annual heating and cooling energy requirements for office buildings in different climates in Turkey. Energy and Buildings, Volume 40, Issue 5, 2008, Pages 763-773.

[18]Gelesz, A. Reith, A. (2015). Climate-based performance evaluation of double skin facades by building energy modelling in Central Europe. Energy Procedia 78, 555-560.

[19] Hansanuwat, K. K. (2011). R. Environment Control Systems for Sustainable Design: A Methodology for Testing, Simulating and Comparing Kinetic Facade Systems. (1), 27- 46 Journal of Architectural Engineering Technology, 4(3), 149-153

[20] Lofthouse, V., (2003). Investigation into the role of core industrial designers into ecodesign projects. Design Studies, 25:215- 227. Moore,2003, susarch.com article

[21] Nasrolahi, F., Samimi, M. Intelligent Design using Solar-Climatic Vision : Energy and Comfort Improvement in Architecture and Urban Planning using SOLARCHVISION,Berlin Universitytsverlag der TU Berlin; BHRC,2014 thesis of architecture. Faculty of Engineering. Cairo University

[22] Alotaibi, F. (2022). The role of kinetic envelopes to improve energy performance in buildings.

[23] Atkin,B.(Ed).(1988). Intelligent Buildings.Applications of IT and Building Automation to High Technology

[24] Construction Projects.Kogan Page.Carlos Ernesto Ochoa , Isaac Guedi Capeluto. (2008). in1telligent facades in hot climates: energy and comfort. Conference on Passive and Low Energy Architecture, (p. 1). Dublin.