

اثرات جدار نورگذر و سایه بان خارجی در بهینه سازی مصرف انرژی جهت رده انرژی D، نمونه موردی ساختمان مسکونی در شهر اهواز

تاریخ دریافت: ۱۴۰۴/۰۸/۱۲

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۴/۰۹/۱۴

کد مقاله: ۸۲۴۴۵

ایرج حیاتی^{۱*}، رضوان آقائیان^۲

چکیده

اهمیت جدارهای نورگذر و در نظر گرفتن وظیفه چند عملکردی آن مسأله مهمی در طراحی ساختمان می باشد. در این زمینه تعیین سطوح نورگذر با در نظر گرفتن الزامات مقررات ملی ساختمان محاسبه شده است. به دلیل اهمیت بالای عملکرد حرارتی ساختار شیشه، نیازمند محاسبات دقیق و پیچیده ایست که در این پژوهش با استفاده از نرم افزار Window چهار نوع ساختار شیشه سازی گردید و به عنوان راهکار اول و سایه بان خارجی نیز راهکار دوم بهینه سازی مصرف انرژی در نظر گرفته شد. برای دستیابی به هدف پژوهش از نرم افزار Design Builder جهت شبیه سازی عملکرد حرارتی ساختمان استفاده شد. جهت تحلیل دقیق اثر سطوح نورگذر و سایه بان خارجی، مشخصات جدارهای کدر، بارهای حرارتی داخلی، سیستم های مکانیکی، الکتریکی و انرژی های تجدیدپذیر در همه مدل ها یکسان لحاظ شد. نتایج شبیه سازی های انجام شده نشان می دهد که ساختمان با ساختار شیشه دوجدار کم گسیل و Solar control امکان دستیابی به رده انرژی D را پیدا می کنند ولی در ساختار شیشه تک جدار معمولی و دو جدار معمولی حتی با داشتن سایه بان خارجی نیز این امکان میسر نمی شود. همچنین اثر سایه بان خارجی در مصرف انرژی در ساختار شیشه تک جدار معمولی با ۷/۶۶ درصد بیشترین کاهش و در شیشه دوجدار Solar control با ۲/۴۷ درصد کمترین کاهش مصرف را داشته است.

واژگان کلیدی: جدار نورگذر، رده انرژی، سایه بان خارجی، شدت مصرف انرژی، شبیه سازی حرارتی ساختمان

۱- عضو کمیسیون انرژی، استاندارد مصالح و محیط زیست سازمان نظام مهندسی استان خوزستان
irajhayatiarch@gmail.com

۲- کارشناس ارشد معماری

ساختمان‌ها با سهم بیش از ۴۰٪ از کل مصرف انرژی سالانه کشور می‌توانند نقش قابل توجهی در مدیریت انرژی به‌ویژه در اوج بار شبکه برق و گاز ایفا نمایند (وزارت راه و شهرسازی، ۱۴۰۴). عناصر متعددی از ساختمان در مصرف انرژی موثرند که جدارهای نورگذر نقش بسزایی در هدر رفت انرژی در پوسته خارجی ساختمان در صورت عدم تامین شرایط مناسب خواهند داشت. در مقابله با ناترازی‌های اخیر کشور و تاکید بر مدیریت انرژی، ضمن بهره‌گیری از روش‌های صحیح و متناسب طراحی، همچنین استفاده از مصالح قابل قبول، علاوه بر کنترل میزان شدت مصرف انرژی کاهش هزینه‌های تامین انرژی را نیز برای ساکنین به همراه دارد. جدارهای نورگذر وظیفه تامین نور طبیعی و حفظ دید بصری برای فضاهای داخلی ساختمان را دارند که از یک سو امکان تعدیل مصرف انرژی ناشی از سیستم روشنایی مصنوعی در ساعات مختلف روز را میسر خواهند کرد و از سوی دیگر می‌توانند موجب اتلاف سرمایه‌های گرمایش و سرمایش و عدم توازن آسایش محیط داخل و همچنین تحمیل بار اضافی به سیستم‌های تهویه مطبوع گردند، بنابراین در نظر گرفتن راهکارهای مناسب برای اینگونه جدارها می‌بایست در اولویت طراحی قرار گیرند.

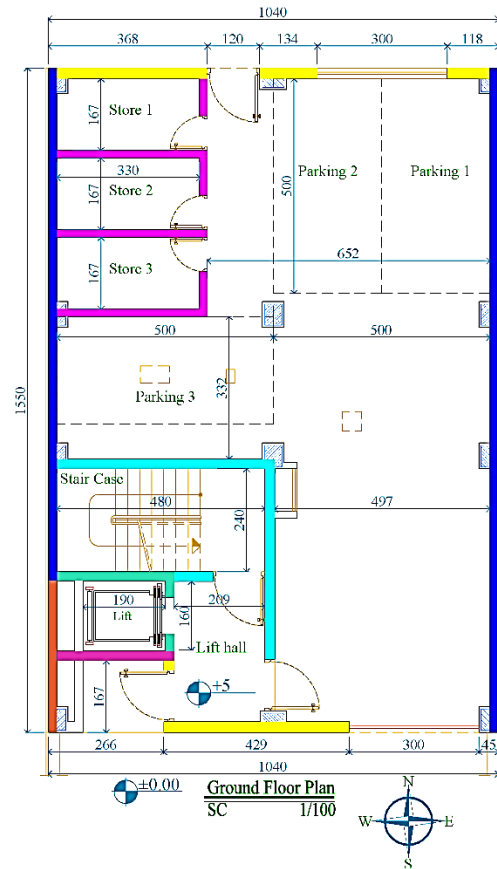
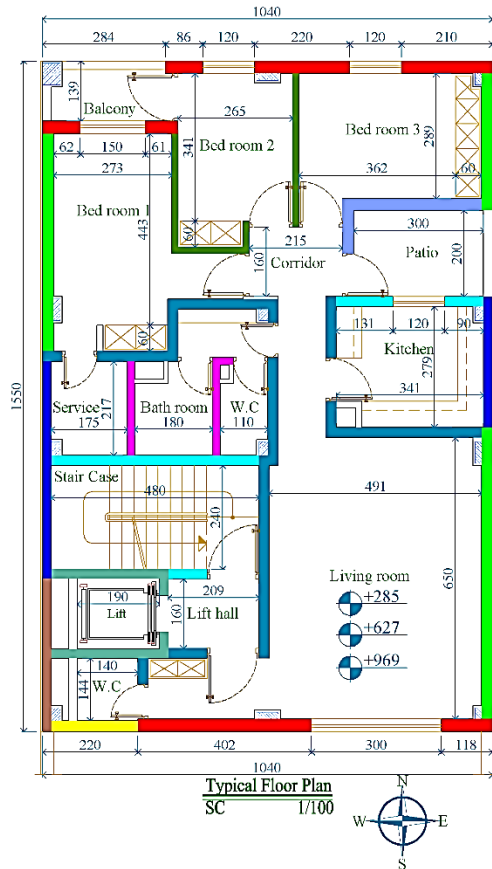
۲- بررسی ادبیات موضوع

جدارهای نورگذر بخش مهمی از ساختمان هستند که علاوه بر تامین نور و الزام به کارگیری در نمای ساختمان‌ها می‌بایست از منظر مدیریت انرژی ساختمان مورد بحث و بررسی قرار بگیرند. یکی از راه‌های صرفه‌جویی در مصرف انرژی ساختمان‌ها که محل اصلی مصرف انرژی می‌باشند، استفاده از شیشه‌های کم‌گسیل است. پوشش‌های این شیشه‌ها مانع آن می‌شود که در زمستان‌ها حرارت داخل ساختمان از طریق تابش به بیرون از ساختمان برود و باعث صرفه‌جویی در مصرف انرژی ساختمان می‌شود (تهوری و همکاران، ۱۳۹۴). یک ساختمان مسکونی در شرایط اقلیمی دو شهر ایران، اصفهان و تبریز که به ترتیب دارای آب و هوای گرم و خشک و سرد می‌باشند، توسط نرم‌افزار انرژی پلاس شبیه‌سازی شده است. نتایج نشان دهنده آن است که عملکرد این نوع شیشه‌ها وابسته به شرایط اقلیمی متفاوت خواهد بود و ضریب کسب حرارت خورشیدی این شیشه‌ها تعیین‌کننده‌ی به صرفه بودن آن‌ها در شرایط اقلیمی متفاوت خواهد بود. در صورت استفاده از شیشه‌های کم‌گسیل می‌توان تا ۲۲ درصد مصرف انرژی گرمایشی ساختمان و ۱۱ درصد تولید آلاینده‌ی زیست محیطی CO₂ را در فصول سرد سال کاهش داد (تهوری و همکاران، ۱۳۹۴). قاسمی نسب و همکاران (۱۴۰۰) مطالعه‌ای برای بهینه‌سازی همزمان عملکرد نور روز سالانه مبتنی بر ماتریس و مصرف انرژی مبتنی بر اقلیم برای سیستم‌های شیشه‌ای نوین مختلف در ساختمان اداری شهر همدان انجام دادند. این مقایسه بر روی ۱۴ مورد شبیه‌سازی سیستم شیشه‌ای مختلف از ۸ گروه سیستم‌های شیشه‌ای نوین انجام شد. شیشه‌های پر شده از گاز، روکش‌های کم‌گسیل، شیشه‌های چند دیواره، محصولات ویژه، شیشه‌های رنگی، روکش‌های بازتابشی، شیشه‌های رنگی در یک پنجره دو دیواره با روکش‌های کم‌گسیل، شیشه‌های ترموکرمیک. نتایج بهینه‌سازی عملکرد نور روز و شدت مصرف انرژی سالانه نشان داد که سیستم Low-E3 بهینه‌ترین نمونه برای اقلیم شهر همدان بود (قاسمی نسب و همکاران، ۱۴۰۰). یاری نژاد و مهران (۲۰۲۴) در تحقیق خود به بررسی تأثیر بهینه‌سازی پوسته‌های خارجی و جدارهای شفاف بر کاهش مصرف انرژی و زمان بازگشت سرمایه ساختمان‌های آموزشی در اقلیم معتدل با تابستان‌های خشک و بسیار گرم با استفاده از نرم‌افزار Design builder پرداختند (Yarinezhad & Mahravan, 2024). شی و ژو (۲۰۲۳) در پژوهش خود به چالش‌ها و بهینه‌سازی پنجره‌های فتوولتائیک یکپارچه با ساختمان (BIPV) پرداختند (Shi & Zhu, 2023). همچنین سروش‌نیا و همکاران (۲۰۲۲) در پژوهش خود به بررسی بهینه‌سازی پیکربندی پنجره، متعادل‌سازی صرفه‌جویی در انرژی و آسایش بصری داخلی برای خانه‌های سیدنی پرداختند (Sorooshnia et al., 2022). قصابان و همکاران (۲۰۲۵) در پژوهش خود به بهینه‌سازی نور روز، نمای آسمان و تولید انرژی در نماهای فتوولتائیک نیمه شفاف ساختمان‌های اداری در یک مطالعه تطبیقی در چهار منطقه آب و هوایی پرداختند. این مطالعه اثرات آن‌ها را بر تولید برق، آسایش بصری و مصرف انرژی از طریق شبیه‌سازی با استفاده از نرم‌افزار Window و موتورهای EnergyPlus و Radiance در ابزارهای Ladybug تجزیه و تحلیل نموده است (Ghasaban et al., 2025).

۳- معرفی ساختمان مورد پژوهش

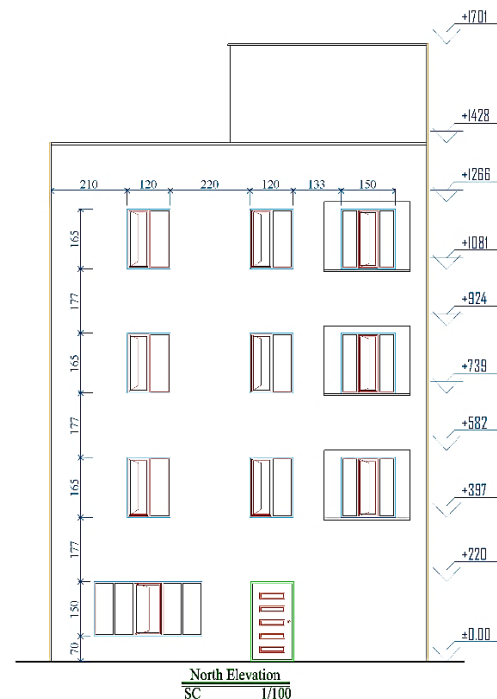
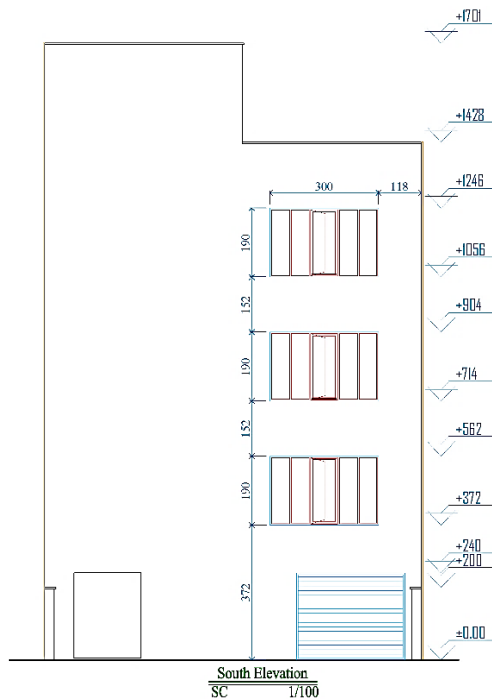
ساختمان طرح، واقع در شهر اهواز دارای ۴ طبقه، طبقه همکف با کاربری پارکینگ و انباری، طبقات اول تا سوم در هر طبقه یک واحد با کاربری مسکونی و هر طبقه با مساحت ۱۶۲/۷۵ متر مربع و مساحت مفید ساختمان برابر ۲۴۳/۹۵ متر مربع می‌باشد. ارتفاع خالص سقف طبقه همکف ۲/۴۰ متر و طبقات تیپ ۲/۹۷ متر می‌باشد. ساختمان در جهت شمالی- جنوبی قرار دارد و در

جهت شرق و غرب با درز انقطاع هوا بندی شده از ساختمان های مجاور جدا شده است که در شکل ۱ تا ۴ نقشه های ساختمان نشان داده شده است.



شکل ۲- پلام تیب طبقات (مأخذ: نگارندگان)

شکل ۱- پلان طبقه همکف (مأخذ: نگارندگان)



شکل ۴- نمای جنوبی (مأخذ: نگارندگان)

شکل ۳- نمای شمالی (مأخذ: نگارندگان)

۴- عوامل ویژه تعیین کننده

۴-۱- دسته بندی اقلیم

یکی از مهمترین معیارها در دسته بندی ساختمان‌ها، میزان اختلاف دما و رطوبت هوای خارج ساختمان با محدوده دما و رطوبت آسایش داخل ساختمان در طول سال است. به منظور تعیین رده اقلیمی هر شهر، اطلاعات سالانه پایگاه‌های هواشناسی تحلیل و بر مبنای تعداد روز درجه سرمایی و روز درجه گرمایی و همچنین میزان بارش سالانه، تقسیم بندی می شوند. مطابق با مبحث ۱۹ مقررات ملی ساختمان (۱۴۰۴) شهر اهواز در رده اقلیمی (OB) قرار دارد که مبنای اطلاعات اقلیمی مورد استفاده خواهد بود.

۴-۲- دسته بندی کاربری و مساحت

در کاربری مسکونی، ساختمان‌ها از جهت تعداد واحد و مساحت به دو گروه کوچک و بزرگ تقسیم‌بندی شده‌اند. به این ترتیب ساختمان‌های مسکونی دارای بیش از ۳۰ واحد و یا بیش از ۳۰۰۰ مترمربع مساحت مسکونی در گروه ساختمان‌های مسکونی بزرگ قرار گرفته و ساختمان‌های مسکونی که تعداد واحدهای آنها بین ۱ تا ۳۰ واحد مسکونی بوده و در عین حال مساحت مسکونی آنها کمتر از ۳۰۰۰ متر مربع باشد در گروه ساختمان‌های مسکونی کوچک قرار می‌گیرند (وزارت راه و شهرسازی، ۱۴۰۴).

۴-۳- شدت مصرف انرژی در ساختمان‌ها

میزان انرژی مصرفی سالانه مجموع کلیه مقادیر مصرف انرژی از حامل‌های مختلف از جمله انرژی‌های تجدیدناپذیر و تجدیدپذیر است که بصورت انرژی ثانویه و یا مقدار مصرف در سایت بر حسب کیلو وات ساعت محاسبه و بر متراتر فضای کنترل شده ساختمان تقسیم می‌شود (وزارت راه و شهرسازی، ۱۴۰۴).

۴-۴- فضای باز

محیط بیرونی پوسته خارجی ساختمان که با هوای آزاد ارتباط مستقیم دارد و هیچ محدوده نیمه بازی آنرا محصور ننموده است (وزارت راه و شهرسازی، ۱۴۰۴).

۴-۵- فضای کنترل شده^۱

بخش‌هایی از فضای داخل ساختمان که دمای هوای داخل آنها توسط تجهیزات سرمایی، گرمایی و تهویه مطبوع کنترل شود (وزارت راه و شهرسازی، ۱۴۰۴).

۴-۶- فضای نیمه باز کنترل نشده^۲

بخش‌هایی از فضای بسته و نیمه بسته ساختمان که دمای هوای آن توسط تجهیزات سرمایشی، گرمایشی و تهویه مطبوع کنترل نمی‌شود و در عین حال جزئی از فضای بیرون ساختمان نیز نیستند (وزارت راه و شهرسازی، ۱۴۰۴).

۴-۷- الگوی مصرف انرژی در ساختمان

حداکثر میزان مجاز شدت انرژی برای کسب رده انرژی D بعنوان حداقل بازدهی انرژی قابل قبول از نظر مبحث ۱۹ مقررات ملی ساختمان ۱۴۰۴، برای ساختمان مورد پژوهش (مسکونی < ۳۰۰۰ متر مربع) برای کسب رده انرژی D در رده اقلیمی (OB) برابر $103 \text{ kWh/m}^2 \cdot \text{yr}$ می‌باشد. همچنین شدت انرژی ساختمان ایده‌آل یا رده انرژی A منتظر با ساختمان مورد پژوهش برابر $26 \text{ kWh/m}^2 \cdot \text{yr}$ می‌باشد.

در تعیین رده انرژی ساختمان ابتدا شدت انرژی ساختمان بر حسب کیلووات ساعت بر مترمربع در سال (Eactuala) را بر شدت انرژی ساختمان ایده‌آل یا رده انرژی A در آن کاربری- اقلیم بر حسب کیلووات ساعت بر مترمربع (Eideal) تقسیم کرده و حاصل این تقسیم بعنوان نسبت بازدهی انرژی ساختمان به ساختمان ایده‌آل با حرف R نشان داده می‌شود (وزارت راه و شهرسازی، ۱۴۰۴).

1 Standard

2 Semi-exterior un conditioned

$$R = E \frac{\text{actual}}{\text{ideal}} \quad (1)$$

برای تعیین رده انرژی ساختمان بین A تا D بر اساس R طبق جدول ۱ عمل می‌شود.

جدول ۱- رده بازدهی انرژی ساختمان بر اساس نسبت R (مأخذ: مبحث ۱۹ مقررات ملی ساختمان)

رده بازدهی انرژی ساختمان	نسبت R
A	$R \leq 1$
B	$1 < R \leq 2$
C	$2 < R \leq 3$
D	$3 < R \leq 4$

۵- مدل پژوهش

۵-۱- تعیین نرم‌افزار شبیه‌ساز انرژی

در این پژوهش، روش شبیه‌سازی جهت بررسی عملکرد اجزاء ساختمان در مصرف انرژی مدنظر قرار گرفته است. در تعیین نرم‌افزار شبیه‌ساز با توجه به نیاز آنالیز کلیه عناصر مرتبط با انرژی ساختمان از جمله بار سرمایش و گرمایش و مصرف دقیق انرژی به تفکیک حامل‌های سوخت، اثرات اقلیمی و دیگر موارد موثر در بررسی و کنترل فاکتورهای مصرف انرژی، از نرم‌افزار Design Builder استفاده شده است. این نرم‌افزار توسط شرکتی با همین نام در انگلستان تولید شده و از موتور محاسباتی Energy Plus استفاده می‌کند که یکی از قدرتمندترین و بروزترین موتورهای محاسبات انرژی در جهان محسوب می‌شود.

۵-۲- بررسی سطح شیشه جدار نورگذر فضاهای اثرگذار در مصرف انرژی ساختمان

هر فضایی که الزاماً به نور طبیعی نیاز دارد، باید حداقل دارای یک یا چند در و پنجره شیشه‌ای با سطوح نورگذر مشابه باشد که به طور مستقیم رو به معبر عمومی یا فضای باز قرار گیرد (وزارت راه و شهرسازی، ۱۳۹۷). مطابق با جدول شماره ۲ الزامات نور فضاهای مورد نظر ارائه شده است.

جدول ۲- الزامات نور فضاها (مأخذ: مبحث ۴ مقررات ملی ساختمان)

اتاق و فضای مورد نظر	پیش بینی سطح شیشه پنجره نسبت به سطح کف	
	سطح نورگذر در یک دیوار به فاصله بیش از ۴/۵ متر از دیوار مقابل	سطح نورگذر در بیش از یک دیوار یا به فاصله کمتر از ۴/۵ متر از دیوار مقابل
فضای اقامت اصلی واحد مسکونی	1:7	1:8
آشپزخانه مسکونی	1:8	1:8

جهت محاسبه سطح شیشه پنجره، مساحت و فاصله سطح نورگذر از دیوار مقابل هر فضا در نظر گرفته شده و طبق الزامات جدول ۲ سطح مورد نیاز شیشه محاسبه گردیده و سطح تامین شده جهت نور هر فضا نیز بصورت مجزا در جدول ۳ ارائه شده است.

جدول ۳- سطح شیشه مورد نیاز و تامین شده در هر فضا (مأخذ: نگارندگان)

اتاق و فضای مورد نظر	فاصله سطح نورگذر از دیوار مقابل (m)	سطح شیشه پنجره نسبت به سطح کف	مساحت فضا (m ²)	مساحت شیشه مورد نیاز (m ²)	مساحت شیشه تامین شده (m ²)
پذیرایی	۶/۵۰	۱:۷	۳۱/۵۴	۴/۵۰	۴/۵۱
اتاق خواب ۱	۶/۱۱	۱:۷	۱۲/۵۲	۱/۷۹	۱/۷۹
اتاق خواب ۲	۳/۴۱	۱:۸	۸/۹۱	۱/۱۱	۱/۴۳۹
اتاق خواب ۳	۲/۸۹	۱:۸	۱۰/۹۸	۱/۳۷	۱/۴۳۹
آشپزخانه	۲/۷۹	۱:۸	۹/۰۶	۱/۱۳	۱/۲۴۹

بر اساس جدول ۳ سطح نورگذر هر فضا در پوسته خارجی در نظر گرفته خواهد شد. همچنین درصد سطح نورگذر به سطح نما در جدول ۴ مشخص شده است.

جدول ۴- سطح نورگذر به سطح نما (مأخذ: نگارندگان)

جبهه نما	سطح نما (m ²)	سطح نورگذر (m ²)	نسبت سطح نورگذر به سطح نما (درصد)
شمالی	۱۲۴/۹۴	۱۳/۵۳	۱۰/۸۳
جنوبی	۱۱۲/۱۱	۱۴/۰۰۴	۱۲/۴۹

۳-۵- پوسته خارجی غیر نورگذر ساختمان

بخشی از پوسته خارجی ساختمان که ضریب عبور نور مرئی^۱ آن کمتر از ۰/۰۵ است. این جدارها از مصالح غیر شفاف تشکیل شده و شامل دیوار، سقف، کف و سطوح مشابه هستند (وزارت راه و شهرسازی، ۱۴۰۴).

۱-۳-۵- مشخصات حرارتی جدارهای غیر نورگذر

پوسته خارجی غیر نورگذر ساختمان شامل: دیوار مجاور فضای خارج یا فضای کنترل نشده، سقف یا بام، کف مجاور خاک یا فضای کنترل نشده می‌باشد. در جدول ۵ با توجه به رنگ ستون جدار موقعیت دیوارها در پلان مشخص می‌شود و به ترتیب لایه‌های هر جدار و مشخصات حرارتی آن، مقاومت حرارتی لایه مشخص شده است.

جدول ۵- مشخصات حرارتی جدارهای غیر نورگذر (مأخذ: نگارندگان)

جدار	مصالح تشکیل دهنده جدار از خارج به داخل	وزن مخصوص (kg/m ³)	ضریب هدایت حرارت مؤثر ^۲ (W/m.K)	ضخامت (m)	مقاومت حرارتی ^۳ لایه (m ² .K/W)
دیوار خارجی جبهه نما	سنگ تراورتن	۲۳۰۰	۲/۳	۰/۰۲	۰/۰۰۹
	دوغاب ماسه و سیمان	۱۷۰۰	۱	۰/۰۴	۰/۰۴۰
	دیوار با بلوک متشکل از بتن هوادار اتوکلاو شده	۵۰۰	۰/۱۸	۰/۱۵	۰/۸۳۳
	عایق حرارتی پشم سنگ با لایه بخاربند	۴۰	۰/۰۴۲	۰/۱	۲/۳۸
	اندود گچ با رویه سفیدکاری	۱۳۰۰	۰/۵۷	۰/۰۲	۰/۰۳۵
دیوار شرق و غرب	دیوار با بلوک متشکل از بتن هوادار اتوکلاو شده	۵۰۰	۰/۱۸	۰/۱۵	۰/۸۳۳
	اندود گچ با رویه سفیدکاری	۱۳۰۰	۰/۵۷	۰/۰۲	۰/۰۳۵
دیوار خارجی مجاور نورگیر	کاشی با چگالی اسمی ۲۱۰۰	۲۱۰۰	۸۵۰	۰/۰۱	۰/۰۱۲
	دوغاب ماسه و سیمان	۱۷۰۰	۱	۰/۰۳	۰/۰۳
	دیوار با بلوک متشکل از بتن هوادار اتوکلاو شده	۵۰۰	۰/۱۸	۰/۱۵	۰/۸۳۳
	عایق حرارتی پشم سنگ با لایه بخاربند	۴۰	۰/۰۴۲	۰/۱	۲/۳۸
	اندود گچ با رویه سفیدکاری	۱۳۰۰	۰/۵۷	۰/۰۲	۰/۰۳۵
دیوار مجاور فضای کنترل نشده	کاشی با چگالی اسمی ۲۱۰۰	۲۱۰۰	۸۵۰	۰/۰۱	۰/۰۱۲
	دوغاب ماسه و سیمان	۱۷۰۰	۱	۰/۰۳	۰/۰۳۰
	دیوار با بلوک متشکل از بتن هوادار اتوکلاو شده	۵۰۰	۰/۱۸	۰/۱۵	۰/۹۷۲
	عایق حرارتی پشم سنگ با لایه بخاربند	۴۰	۰/۰۴۲	۰/۰۵	۱/۱۹
	اندود گچ با رویه سفیدکاری	۱۳۰۰	۰/۵۷	۰/۰۲	۰/۰۳۵
کف مجاور فضای کنترل نشده	اندود گچ با رویه سفیدکاری	۱۳۰۰	۰/۵۷	۰/۰۲۵	۰/۰۴۴
	تیرچه با بلوک سیمانی	۱۱۰۰	-	۰/۳۰	۰/۲۵
	بتن سبکدانه با پوکه طبیعی	۱۵۰۰	۰/۵۲	۰/۰۵	۰/۰۹۶۲
	ملات ماسه و سیمان	۱۷۰۰	۱	۰/۰۴	۰/۰۴۰
	کاشی با چگالی اسمی ۲۴۰۰	۲۴۰۰	۱/۰۴	۰/۰۱	۰/۰۱

1 Visible Light Transmittance

2 λ - Value

3 R - Value

۰/۰۱	۰/۰۱	۱/۰۴	۲۴۰۰	کاشی با چگالی اسمی ۲۴۰۰	سقف بام مجاور فضای باز
۰/۰۴۰	۰/۰۴	۱	۱۷۰۰	ملات ماسه و سیمان	
۳/۲۶	۰/۱۵	۰/۰۴۶	۳۵	پلی استایرن اکسترود شده (XPS)	
۰/۰۲۱۷	۰/۰۰۵	۰/۲۳	۱۰۰۰	عایق رطوبتی	
۰/۰۲۰	۰/۰۲	۱	۱۷۰۰	ملات ماسه و سیمان صیقلی	
۰/۰۹۶۲	۰/۰۵	۰/۵۲	۱۵۰۰	بتن سبکدانه با پوکه طبیعی با ذرات ریز	
۰/۶۹	۰/۳۰	-	۹۰۰	سقف تیرچه با بلوک پلی استایرن منبسط	
۰/۱۴	۰/۰۲	-	-	هوای محبوس، جهت جریان حرارت رو به بالا	
۰/۰۴۴	۰/۰۲۵	۵۷۰	۱۳۰۰	اندود گچ با رویه سفیدکاری	

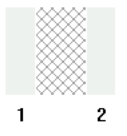
۵-۴- پوسته نورگذر ساختمان

بخشی از پوسته خارجی ساختمان که ضریب عبور نور مرئی آن بزرگتر از ۰/۰۵ است. این جدارها می‌توانند به صورت شفاف یا مات باشند و معمولاً شامل پنجره‌ها، نماهای شفاف، درهای نورگذر، نورگیرها و سطوح مشابه هستند که امکان عبور نور طبیعی از بیرون به داخل ساختمان را فراهم می‌کنند (وزارت راه و شهرسازی، ۱۴۰۴).

۵-۴-۱- مشخصات حرارتی و نوری شیشه در جدارهای نورگذر

در پنجره‌های ساختمان، چهار نوع شیشه به عنوان متغیرهای اول پژوهش مورد بررسی قرار گرفته است، برای دستیابی به مشخصات دقیق ساختار شیشه در نرم‌افزار WINDOW^۱ نسخه ۷٫۸ شبیه‌سازی شده و نتایج در جدول ۶ مشخص شد. نرم افزار WINDOW در آزمایشگاه ملی لارنس برکلی تهیه شده و امکان شبیه‌سازی ساختار شیشه‌های پیچیده از لحاظ ضریب انتقال حرارت و آنالیزهای دقیق نوری را فراهم می‌کند.

جدول ۶- مشخصات حرارتی و نوری ساختار شیشه‌های مورد بررسی در ساختمان (مأخذ: نگارندگان)

شکل مدل	ضخامت (mm)	مشخصات شیشه‌ها و گاز بین شیشه‌ها	شماره لایه	T _{vis} ^۳	SHGC ^۲	U- (W/m ² .K)	ساختار شیشه
 1	۶	Clear	۱	۰/۸۷۸	۰/۸۱۳	۵/۸	شیشه معمولی
 1 2	۶ ۱۰ ۶	Clear Air(10%) Argon(90%) Clear	۱ - ۲	۰/۷۷۷	۰/۶۹۷	۲/۵۹۲	شیشه دو جدار معمولی
 1 2	۵/۹ ۱۰ ۶	Low-E Air(10%) Argon(90%) Clear	۱ - ۲	۰/۷۳۳	۰/۵۱۰	۱/۵۱۳	شیشه دو جدار کم‌گسیل ^۴
 1 2	۶ ۱۰ ۶	Solar control Air(10%) Argon(90%) Clear	۱ - ۲	۰/۳۹۳	۰/۲۶۳	۱/۶۱۶	شیشه دو جدار Solar control

قاب مورد استفاده در جدارهای نورگذر در ساختمان از نوع UPVC با ضریب انتقال حرارت (W/m².K) ۲/۵ می‌باشد.

1 lbl.gov

2 Solar Heat Gain Coefficient

3 Visual Light Transmittance

4 Low-e

۵-۵- مشخصات حرارتی جدارهای داخلی ساختمان

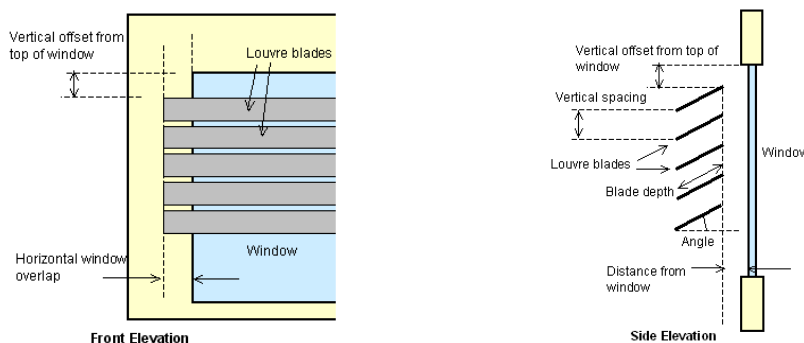
جدارهای داخلی با اینرسی حرارتی که ایجاد می‌کنند این امکان را بوجود می‌آورند که بخشی از سرمایش یا گرمایش فضا را در خود ذخیره کنند و در به حداقل رساندن مصرف انرژی نقش بسزایی داشته باشند. در جدول ۷ با توجه به رنگ ستون جدار موقعیت دیوارها در پلان مشخص می‌شود و به ترتیب لایه‌های هر جدار و مشخصات حرارتی آن، مقاومت حرارتی لایه مشخص شده است.

جدول ۷- مشخصات حرارتی جدارهای داخلی (مأخذ: نگارندگان)

مقاومت حرارتی لایه (m ² .K/W)	ضخامت (m)	ضریب هدایت حرارت مؤثر (W/m.K)	وزن مخصوص (kg/m ³)	مصالح تشکیل دهنده جدار	جدار
۰/۰۳۵	۰/۰۲	۰/۵۷	۱۳۰۰	اندود گچ با رویه سفیدکاری	دیوار پارتیشن داخلی
۰/۵۶۶	۰/۱	۰/۱۸	۵۰۰	دیوار با بلوک متشکل از بتن هوادار اتوکلاو شده	
۰/۰۳۵	۰/۰۲	۰/۵۷	۱۳۰۰	اندود گچ با رویه سفیدکاری	
۰/۰۱	۰/۰۱	۱/۰۴	۲۴۰۰	کاشی با چگالی اسمی ۲۴۰۰	سقف بین طبقات
۰/۰۴۰	۰/۰۴۰	۱	۱۷۰۰	ملات ماسه و سیمان	
۰/۰۹۶۲	۰/۰۵	۰/۵۲	۱۵۰۰	بتن سبکدانه با پوکه طبیعی	
۰/۶۹	۰/۳۰	-	۹۰۰	سقف تیرچه با بلوک پلی‌استایرن منبسط	
۰/۱۴	۰/۰۲	-	-	هوای محبوس، جهت جریان حرارت رو به بالا	
۰/۰۴۴	۰/۰۲۵	۰/۵۷	۱۳۰۰	اندود گچ با رویه سفیدکاری	

۵-۶- مشخصات سایه بان خارجی^۱

سایه بان خارجی یکی از راهکارهای کاهش مصرف انرژی محسوب می‌شود که در این پژوهش، استفاده از سایه بان خارجی از نوع Louvres به عنوان متغیر دوم پژوهش در نظر گرفته شده است. در شکل‌های ۵ و ۶ متغیرهای داده‌ای نرم‌افزار جهت سایه بان خارجی نشان داده شده است. همچنین داده‌های فیزیکی و هندسی آن‌ها در جدول ۸ تعیین شده است.



شکل ۵- متغیرهای داده‌ای در سایه بان خارجی (مأخذ: DesignBuilder 2.1 User's Manual) شکل ۶- متغیرهای داده‌ای در سایه بان خارجی (مأخذ: DesignBuilder 2.1 User's Manual)

جدول ۸- مشخصات سایه بان خارجی (مأخذ: نگارندگان)

مشخصات سایه بان (Louvres)	اندازه (m)
Vertical offset from top of window	۰/۲
Vertical spacing	۰/۲
Bland depth	۰/۱

1 Local shading

Angle	۱۰ درجه
Distance from window	۰/۲

۵-۷- بارهای حرارتی موجود در ساختمان

به منظور شبیه‌سازی عملکرد حرارتی ساختمان، نیازمند تعیین بارهای داخلی ساختمان می‌باشد که در جدول ۹ ارائه شده اند.

جدول ۹- بارهای داخلی ساختمان (مأخذ: نگارندگان)

۴ w/m ²	توان تجهیزات خانگی روزانه به طور متوسط (مبحث ۱۹ مقررات ملی ساختمان، ویرایش چهارم)	
۷/۱ l/s	نرخ هوای تازه با ازای هر نفر (مبحث ۱۴ مقررات ملی ساختمان)	
۴۷ l/s	هوای تخلیه مورد نیاز جهت آشپزخانه (مبحث ۱۴ مقررات ملی ساختمان)	
۲۳/۵ l/s	هوای تخلیه مورد نیاز جهت توالی و حمام (مبحث ۱۴ مقررات ملی ساختمان)	
Standing relaxed	سطح و نوع فعالیت افراد (Metabolic)	
0/74 clo	Winter Clothing (ASHRAE Standard 55)	ضریب لباس (Clothing)
۰/۵۷ clo	Summer Clothing (ASHRAE Standard 55)	

۵-۸- بازدهی تجهیزات گرمایی و سرمایی ساختمان

در ساختمان مورد بررسی از کولر اسپلیت جهت سرمایش با راندمان^۱ (COP) ۳/۴۹ و از پکیج با راندمان (COP) ۰/۹ جهت گرمایش و تامین آب گرم مصرفی استفاده شده است. شرایط داخل ساختمان برای بار سرمایش ۲۵°C و جهت بار گرمایش ۲۱°C و همچنین دمای آب گرم مصرفی ۶۰°C در نظر گرفته شده است.

۵-۹- راندمان سیستم روشنایی ساختمان

لامپ‌های سیستم روشنایی ساختمان از نوع LED با مشخصات ۱۸ وات با ۱۹۰۰ لومن با بهره نوری ۱۰۵/۵۵ در نظر گرفته شده است. در جدول ۱۰ شدت روشنایی استاندارد هر محل ارائه گردیده و شدت روشنایی پیشنهادی در تعیین میزان متوسط مصرف انرژی روشنایی بر اساس W/m² جهت فضاهای مختلف ساختمان ملاک عمل قرار گرفته و در جدول ۱۱ تعیین شده است.

جدول ۱۰- شدت روشنایی بر حسب لوکس (مأخذ: مبحث ۱۳ مقررات ملی ساختمان)

پیشنهادی	حداقل	محل‌های مسکونی
۲۰۰	۷۰	اتاق نشیمن و پذیرایی
۵۰۰	۱۵۰	اتاق مطالعه (نوشتن و خواندن کتاب و مجله و روزنامه)
۲۰۰	۱۰۰	آشپزخانه (ظرفشویی، اجاق و میز کار)
۱۰۰	۵۰	روشنایی عمومی
۵۰۰	۲۰۰	اتاق خواب: روشنایی میز توالی
۱۰۰	۵۰	روشنایی عمومی
۵۰۰	۲۰۰	حمام: آینه‌ها (برای اصلاح صورت)
۱۵۰	۱۰۰	پلکان
۱۵۰	۵۰	راهرو، سرسرا و آسانسور

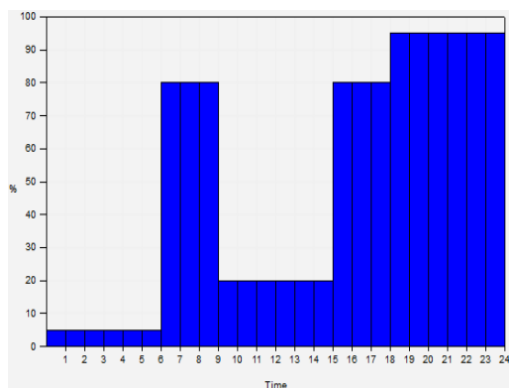
جدول ۱۱- میزان مصرف انرژی سیستم روشنایی ساختمان (مأخذ: نگارندگان)

اتاق نشیمن و پذیرایی	اتاق خواب	آشپزخانه	حمام و توالی	پلکان، راهرو، سرسرا و آسانسور	انباری، پارکینگ	مصرف انرژی (W/m ²)
۱/۸۹	۰/۹۴۷	۱/۸۹	۰/۹۴۷	۱/۴۲	۰/۹۴۷	

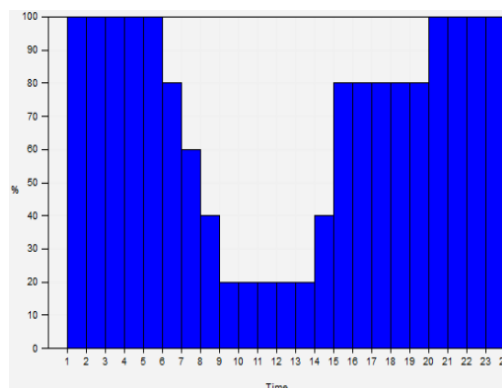
1 Coefficient of Performance

۵-۱۰- برنامه زمانی مربوط به ساختمان مسکونی

برنامه زمان بندی ساختمان جهت مشخص نمودن ساعات حضور افراد، زمان بندی سیستم های سرمایش، گرمایش، تهویه، روشنایی و برنامه ریزی دمای ست پوینت ترموستات ها می باشد. شکل های ۷ تا ۸ نمودارهای برنامه زمانی نشان داده شده است.



شکل ۸- نمودار سیستم روشنایی (مأخذ: نگارندگان)



شکل ۷- نمودار ساعات حضور افراد (مأخذ: نگارندگان)

۵-۱۱- انرژی های تجدیدپذیر^۱

سیستم های تجدیدپذیر مختلفی برای کاهش نیاز انرژی وجود دارند، با توجه به نیاز غالب سرمایش در شهر اهواز و مصرف برق جهت تامین سرمایش برای ساختمان، سلول های فتوولتائیک^۲ در نظر گرفته شد. به منظور شبیه سازی سلول های فتوولتائیک لازم است، داده های ابعاد و ویژگی های پنل مطابق با داده های فنی محصول در نرم افزار وارد شود. در جدول ۱۲ شکل و مشخصات فنی پنل ارائه شده است. تعداد ۲۲ پنل در طراحی منظور گردید و میزان برق تولیدی برابر $39,01 \text{ kWh/m}^2$ محاسبه گردید.

جدول ۱۲- شکل و مشخصات فنی پنل فتوولتائیک (مأخذ: نگارندگان)

	Maximum power	P_{max}	260 Wp
	Open circuit voltage	U_{oc}	38.4 V
	Maximum power point voltage	U_{mpp}	31.4 V
	Short circuit current	I_{sc}	8.94 A
	Maximum power point current	I_{mpp}	8.37 A
	Module efficiency	η_m	15.51 %
	Cells per module		60
	Cell type		Poly crystalline
	Cell dimensions		156 mm*156 mm
	TC I_{sc}		0.051 %/K
	TC U_{oc}		-0.31 %/K

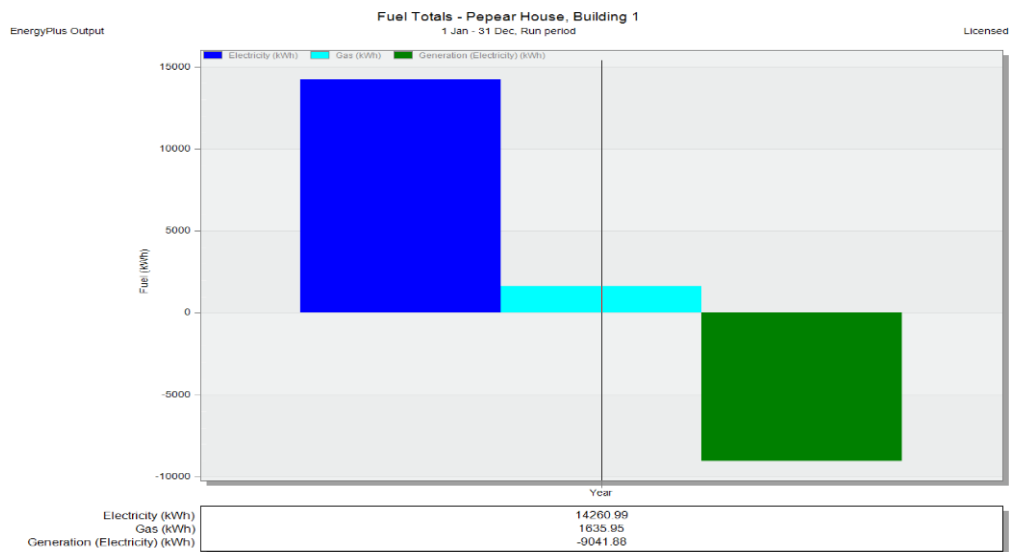
۵-۱۱-۱- تعیین زاویه مناسب پنل های فتوولتائیک مناسب با اقلیم شهر اهواز

1 Renewable Energies

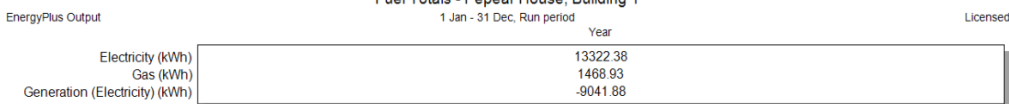
2 Potovoltaic Cell

۶- نتایج پژوهش

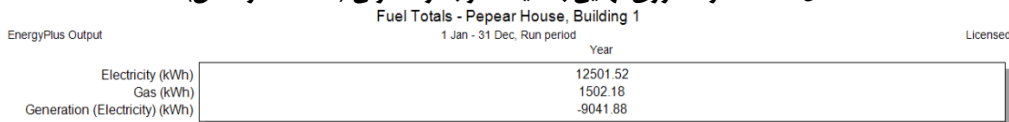
شبیه‌سازی برای ۳۶۵ روز سال و مصرف انرژی نهایی بر اساس جدارهای غیر نورگذر، تاسیسات مکانیکی و الکتریکی یکسان و ابتدا متغیر اول (جدارهای نورگذر) به ترتیب جدول ۶ انجام گردید و نتایج نرم‌افزار در شکل‌های ۱۲ تا ۱۵ مشخص شد، همچنین همزمان با در نظر گرفتن متغیر اول، متغیر دوم پژوهش (سایه‌بان خارجی جدارهای نورگذر) به شبیه‌سازی اضافه شد و نتایج در شکل‌های ۱۶ تا ۱۹ ارائه شده است.



شکل ۱۲- مصرف انرژی نهایی با شیشه معمولی (مأخذ: نگارندگان)



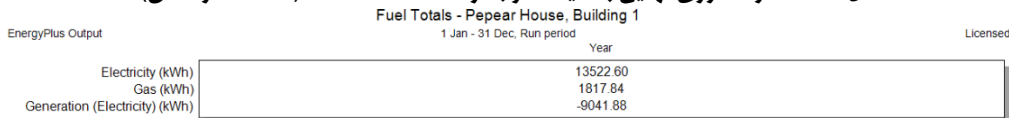
شکل ۱۳- مصرف انرژی نهایی با شیشه دوجدار معمولی (مأخذ: نگارندگان)



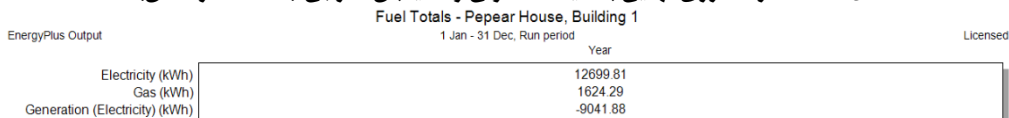
شکل ۱۴- مصرف انرژی نهایی با شیشه دوجدار کم‌گسیل (مأخذ: نگارندگان)



شکل ۱۵- مصرف انرژی نهایی با شیشه دوجدار Solar Control (مأخذ: نگارندگان)



شکل ۱۶- مصرف انرژی نهایی با شیشه معمولی و سایه‌بان خارجی (مأخذ: نگارندگان)



شکل ۱۷- مصرف انرژی نهایی با شیشه دو جدار معمولی و سایه‌بان خارجی (مأخذ: نگارندگان)

Fuel Totals - Pepear House, Building 1
1 Jan - 31 Dec, Run period

EnergyPlus Output	Year	Licensed
Electricity (kWh)	12060.38	
Gas (kWh)	1649.89	
Generation (Electricity) (kWh)	-9041.88	

شکل ۱۸ - مصرف انرژی نهایی با شیشه دو جدار کم گسیل و سایه بان خارجی (مأخذ: نگارندگان)

Fuel Totals - Pepear House, Building 1
1 Jan - 31 Dec, Run period

EnergyPlus Output	Year	Licensed
Electricity (kWh)	11472.29	
Gas (kWh)	1967.33	
Generation (Electricity) (kWh)	-9041.88	

شکل ۱۹ - مصرف انرژی نهایی با شیشه دو جدار Solar Control و سایه بان خارجی (مأخذ: نگارندگان)

با توجه به نتایج بدست آمده شدت مصرف انرژی در ۸ حالت شبیه سازی شده در جدول ۱۴ ارائه گردیده و همچنین نسبت R با توجه به جدول ۱ محاسبه و رده انرژی دریافتی هر حالت ذکر شده است. در جدول ۱۵ اثر سایه بان خارجی نسبت به حالت فاقد سایه بان در میزان شدت انرژی در ۴ حالت سطوح نورگذر مورد بررسی قرار گرفته است.

جدول ۱۴ - شدت مصرف انرژی، تعیین نسبت R و رده انرژی جهت حالت های شبیه سازی شده (مأخذ: نگارندگان)

ساختمان شیشه ساختمان	شدت مصرف انرژی kWh/m ² .yr	نسبت R	رده انرژی دریافتی
شیشه معمولی	۱۲۹/۰۲	۴/۹۶	فاقد رده انرژی
شیشه دو جدار معمولی	۱۱۴/۹۸	۴/۴۲	فاقد رده انرژی
شیشه دو جدار کم گسیل	۱۰۳/۳۵	۳/۹۷۵	D
شیشه دو جدار Solar control	۹۲/۶۴	۳/۵۶	D
شیشه معمولی با سایه بان خارجی	۱۱۹/۱۳	۴/۵۸	فاقد رده انرژی
شیشه دو جدار معمولی با سایه بان خارجی	۱۰۶/۶۴	۴/۱۰	فاقد رده انرژی
شیشه دو جدار کم گسیل با سایه بان خارجی	۹۷/۵۹	۳/۷۵	D
شیشه دو جدار Solar control با سایه بان خارجی	۹۰/۳۵	۳/۴۷۵	D

جدول ۱۴ - اثر وجود سایه بان خارجی در شدت مصرف انرژی جهت حالت های شبیه سازی شده (مأخذ: نگارندگان)

ساختمان شیشه ساختمان	شدت مصرف انرژی kWh/m ² .yr	اثر سایه بان خارجی (درصد)
شیشه معمولی	۱۲۹/۰۲	۷/۶۶ کاهش شدت مصرف انرژی
شیشه معمولی با سایه بان خارجی	۱۱۹/۱۳	
شیشه دو جدار معمولی	۱۱۴/۹۸	۷/۲۵ کاهش شدت مصرف انرژی
شیشه دو جدار معمولی با سایه بان خارجی	۱۰۶/۶۴	
شیشه دو جدار کم گسیل	۱۰۳/۳۵	۵/۵۷ کاهش شدت مصرف انرژی
شیشه دو جدار کم گسیل با سایه بان خارجی	۹۷/۵۹	
شیشه دو جدار Solar control	۹۲/۶۴	۲/۴۷ کاهش شدت مصرف انرژی
شیشه دو جدار Solar control با سایه بان خارجی	۹۰/۳۵	

۷- نتیجه گیری

استفاده مداوم از ساختمان های مسکونی نشان می دهد که طراح می بایست نگرش هوشمندانه ای در روش طراحی و انتخاب مصالح و تجهیزات داشته باشد تا امکان رسیدن به رده انرژی مدنظر میسر گردد. با توجه به اقلیم فوق العاده گرم و کم باران اهواز و نیاز غالب سرمایه ای، پوسته خارجی ساختمان اهمیت ویژه ای پیدا می کند. در این پژوهش عملکرد سطوح نورگذر که اجزاء غالب آن ساختار شیشه ای می باشد، مورد بررسی قرار گرفت و مصرف انرژی سالانه در ۸ حالت مختلف با ۴ ساختار شیشه با در نظر گرفتن سایه بان خارجی و بدون آن شبیه سازی گردید. با تحلیل نمونه مورد بررسی، مشخص شد که سطوح نورگذر جبهه جنوبی با ۱۲/۴۹ درصد و جبهه شمالی با ۱۰/۸۳ درصد نسبت به سطح نما می تواند اتلاف انرژی قابل توجهی را داشته باشد. الگوی مصرف انرژی برای رده انرژی D در اقلیم اهواز برابر (kWh/m².yr) ۱۰۳ اعلام شده که با شیشه تک جداره معمولی (kWh/m².yr) ۱۲۹/۰۲ و با شیشه دو جدار معمولی (kWh/m².yr) ۱۱۹/۱۳ بیشتر از الگوی مصرف را داشته اند. با در نظر گرفتن سایه بان خارجی

برای این جدارها کاهش مصرف انرژی مشاهده شد ولی همچنان دستیابی به الگوی مصرف مورد نظر امکان پذیر نبود. در ساختار شیشه دو جدار کم‌گسیل و Solar control بدون داشتن سایه‌بان خارجی، رده انرژی مورد نظر دریافت خواهد شد و در صورتی که سایه‌بان خارجی مد نظر باشد با توجه به اینکه کمتر از الگوی مصرف رده D می‌باشند، می‌تواند در تقلیل ضخامت عایق کاری حرارتی پوسته کدر خارجی و تعدیل هزینه عایق کاری حرارتی کمک کند. نتایج نشان می‌دهد که شیشه تک جداره معمولی ۳۹/۲۷ درصد نسبت به شیشه دو جدار Solar control و ۳۲/۲۱ درصد نسبت به شیشه دو جدار کم‌گسیل اتلاف انرژی دارد.

در نتایج تحلیلی سایه‌بان خارجی مشخص گردید که ضریب جذب حرارت خورشیدی (SHGC) ساختار شیشه اثر مستقیمی بر عملکرد سایه‌بان دارد. در شیشه تک جدار معمولی با بیشترین ضریب SHGC برابر ۰/۸۱۳، عملکرد سایه‌بان ۷/۶۶ درصد کاهش و شیشه دو جدار Solar control با کمترین ضریب SHGC برابر ۰/۳۹۳، عملکرد سایه‌بان ۲/۴۷ درصد کاهش مصرف انرژی را ایجاد کرد.

منابع

- ۱) تهوری، محمدمین، صابونچی، احمد، و حسن پور، سعید. (۱۳۹۴). تاثیر استفاده از شیشه های کم گسیل در مصرف انرژی گرمایشی ساختمان های مسکونی. کنفرانس و نمایشگاه بین المللی رویکردهای نوین در نگهداشت انرژی (ETEC 2016). SID. <https://sid.ir/paper/830138/fa>
- ۲) قاسمی نسب، مریم، مولایی، محمدمهدی و پیله چی ها، پیمان. (۱۴۰۰). شبیه سازی دقیق نماهای شیشه ای نوین با تاکید بر بهینه سازی نور روز و انرژی(موردپژوهی: ساختمان اداری در همدان). معماری و شهرسازی پایدار-175, 9(2), 163. doi: 10.22061/jsaud.2021.7529.1811
- ۳) وزارت راه و شهرسازی. (۱۳۹۶). مبحث چهاردهم مقررات ملی ساختمان: تاسیسات مکانیکی (چاپ اول، ویرایش سوم). دبیرخانه تدوین و ترویج مقررات ملی ساختمان.
- ۴) وزارت راه و شهرسازی. (۱۳۹۶). مبحث سیزدهم مقررات ملی ساختمان: طراحی و اجرای تاسیسات برقی ساختمان (چاپ دوم، ویرایش سوم). دبیرخانه تدوین و ترویج مقررات ملی ساختمان.
- ۵) وزارت راه و شهرسازی. (۱۳۹۷). مبحث چهارم مقررات ملی ساختمان: الزامات عمومی ساختمان (چاپ چهارم، ویرایش سوم). دبیرخانه تدوین و ترویج مقررات ملی ساختمان.
- ۶) وزارت راه و شهرسازی. (۱۳۹۹). مبحث نوزدهم مقررات ملی ساختمان: صرفه جویی در مصرف انرژی (ویرایش چهارم). دبیرخانه تدوین و ترویج مقررات ملی ساختمان.
- ۷) وزارت راه و شهرسازی. (۱۴۰۴). مبحث نوزدهم مقررات ملی ساختمان: مدیریت انرژی در ساختمان (ویرایش پنجم). دبیرخانه تدوین و ترویج مقررات ملی ساختمان.
- 8) ASHRAE. (2013). ANSI/ASHRAE Standard 55-2013: Thermal environmental conditions for human occupancy. American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers.
- 9) DesignBuilder Software. (2009). DesignBuilder 2.1 user's manual. DesignBuilder Software.
- 10) Ghasaban, M., Yeganeh, M., & Irani, M. (2025). Optimizing daylight, sky view and energy production in semi-transparent photovoltaic facades of office buildings: A comparative study in four climate zones. *Applied Energy*, 377, 124707.
- 11) Shi, S., & Zhu, N. (2023). Challenges and optimization of building-integrated photovoltaics (BIPV) windows: a review. *Sustainability*, 15(22), 15876.
- 12) Sorooshnia, E., Rashidi, M., Rahnamayiezekavat, P., & Samali, B. (2022). Optimizing window configuration counterbalancing energy saving and indoor visual comfort for sydney dwellings. *Buildings*, 12(11), 1823.
- 13) Yari Nezhad, A., & Mahravan, A. (2024). Investigating the effect of optimizing external skins and translucent walls on reducing energy consumption and investment return time of educational buildings in a temperate climate with dry and very hot summers. *Journal of Applied and Computational Sciences in Mechanics*, 36(1), 41-60.