

تعیین نسبت بهینه پنجره به دیوار در بیمارستان‌های شهر مشهد با هدف افزایش بهره‌وری انرژی ساختمان*

سید رضا حسینی^۱ - سید مجید مفیدی شمیرانی^{۲*} - ایرج اعتصام^۳

۱. دانشجوی دکتری معماری، گروه معماری، واحد علوم و تحقیقات، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران.
۲. استادیار گروه شهرسازی، دانشکده معماری و شهرسازی، دانشگاه علم و صنعت ایران، تهران، ایران (نویسنده مسئول).
۳. استاد گروه شهرسازی، دانشکده شهرسازی، پردیس هنرهای زیبا، دانشگاه تهران، تهران، ایران.

تاریخ دریافت: ۱۴۰۱/۰۴/۱۱ تاریخ اصلاحات: ۱۴۰۱/۱۰/۱۷ تاریخ پذیرش نهایی: ۱۴۰۱/۱۱/۰۲ تاریخ انتشار: ۱۴۰۲/۰۶/۲۲

چکیده

مطالعات گسترده‌ای نشان می‌دهند افزایش دسترسی به نور طبیعی از طریق پنجره‌های بزرگ‌تر، کیفیت محیط داخلی فضاهای بیمارستانی را بهبود خواهد بخشید؛ در حالی که از منظر افزایش بهره‌وری انرژی ساختمان، با بزرگ‌تر شدن اندازه پنجره‌ها، انتقال حرارت به‌وسیله شیشه‌ها و نیاز به بار سرمایشی در تابستان‌ها، افزوده شده و عملکرد انرژی ساختمان کاهش می‌یابد و با کوچک‌تر شدن اندازه پنجره‌ها، ضمن افزایش مصرف انرژی به طریقی دیگر، کیفیت محیطی بیمارستان نیز کاهش می‌یابد. در شرایط اقلیمی مانند مشهد که اختلاف دمای بیرون و درون ساختمان زیاد است، طراحی پنجره‌ها جهت افزایش بهره‌وری انرژی ساختمان از حساسیت بیش‌تری برخوردار است. این تحقیق در پی پاسخ به این سوال است که پنجره‌های بیمارستان‌ها در مشهد از چه مشخصات کالبدی می‌بایست برخوردار باشند تا از طریق جذب بهینه انرژی خورشیدی علاوه بر ایجاد آسایش حرارتی، بهره‌وری انرژی در ساختمان افزایش یابد؟ به این منظور شیوه‌های ساختمانی مرسوم در طراحی بیمارستان‌ها؛ شیوه‌های منتج از دستورالعمل‌های مبحث نوزدهم مقررات ملی ساختمان ایران و شیوه‌های پیشنهادی این مطالعه مبتنی بر افزایش عایق‌کاری، با یکدیگر مقایسه شدند. تحقیق به وسیله شبیه‌سازی الگوریتمیک شرایط ساختمان، در پلاگین‌های تحلیل انرژی و نور (هانی‌بی و لیدی‌باگ)، در بستر نرم‌افزار گرس‌هاپر انجام پذیرفت و داده‌ها به شیوه مقایسه‌ای، توصیف و تحلیل گشت. به عنوان نتیجه؛ ضمن این که فضاهایی که بر اساس دستورالعمل‌های مبحث ۱۹ شکل گرفته‌اند، صرفه‌جویی بیش‌تری نسبت به ساختمان‌های وضع موجود دارند، کاربست روش‌های پیشنهادی این مطالعه، تاثیر بیش‌تری در کاهش مصرف انرژی به همراه دارد. نقش ملاحظاتمانند عایق‌کاری در کاهش اتلاف انرژی، تعیین‌کننده اما محدود است. لذا با وجود این که در کلیه حالت‌ها با پنجره‌هایی با نسبت ۴۰-۳۲ درصد روشنایی مفید حاصل می‌شود، لزوم در نظر گرفتن حد پایین این بازه جهت افزایش بهره‌وری انرژی ساختمان ضروری است. نتایج این تحقیق در طراحی بیمارستان‌هایی واقع در اقلیم‌های مشابه و روش آن در طراحی فضاهایی با کارکرد زمانی مشابه کاربرد خواهد داشت.

واژگان کلیدی: بهره‌وری انرژی ساختمان، نسبت بهینه پنجره به دیوار، بیمارستان، مشهد.

* این مقاله برگرفته از رساله دکتری نویسنده اول با عنوان «تبیین مولفه‌های طراحی فضاهای درمانی با رویکرد بهینه‌سازی مصرف انرژی، مورد پژوهشی (بیمارستان‌های شهر مشهد)» است که با راهنمایی نویسنده دوم و مشاوره نویسنده سوم در دانشگاه آزاد اسلامی تهران، واحد علوم و تحقیقات انجام شده است.

** E-mail: s_m_mofidi@iust.ac.ir

۱. مقدمه

پنجره‌ها از نظر عملکرد و بهره‌وری انرژی جزء ضعیف‌ترین قسمت‌های ساختمان در نظر گرفته می‌شوند. آن‌ها مسئول بیش‌ترین بهره مستقیم خورشیدی، پل‌های حرارتی و انتقال حرارت در ساختمان‌ها هستند. بسته به شرایط بیرونی و اندازه شیشه، این اتلاف حرارت حدود ۵۱-۱۰ درصد برآورد شده است (Alwetaishi and Benjeddou, 2021). به همین دلیل، در طراحی بیمارستان‌ها اغلب از پنجره‌های بزرگ اجتناب می‌شود که موجب کاهش ورود نور طبیعی به فضا می‌شود (Cesari et al. 2020). از طرف دیگر، افزایش دسترسی به نور روز در اتاق‌های بیماران بیمارستان، با کاهش مصرف انرژی مربوط به روشنایی، بهبود کارایی ارائه مراقبت‌های بهداشتی و کوتاه‌نمودن مدت بستری بیمار، هزینه‌های مراقبت‌های بهداشتی بیمارستان را به طور قابل توجهی کاهش داده و تأثیراتی مثبت بر پایداری اقتصادی بیمارستان‌ها خواهد داشت. مطالعاتی بر روی اثرات مثبت نور روز بر بهبود بیماران در ساختمان‌های درمانی تمرکز دارند (Choi, Beltran, and Kim 2012; Lee and Song 2007). مطالعات محدودی در مورد بهینه‌سازی مصرف انرژی در ساختمان‌های درمانی با استفاده از شبیه‌سازهای انرژی انجام شده است (Keighley 1973; Sherif et al. 2014)؛ اما به ندرت مشخصات کالبدی پنجره‌ها از قبیل نسبت سطح پنجره به دیوار و یا جهت‌گیری بهینه پنجره‌ها مورد بررسی قرار گرفته‌اند، در صورتی که اگر پنجره‌ها به درستی طراحی نشوند، می‌توانند تأثیر منفی بر مصرف انرژی ساختمان داشته باشند. بر این اساس توجه به شیوه‌های مناسب طراحی پنجره از ضروریات دیدگاه‌های مبتنی بر کارایی انرژی است.

در سال‌های اخیر، مراکز درمانی زیادی در شهر مشهد ساخته شده‌اند که تلاش برای کسب بالاترین سطح رضایت بیمار را دارند. این تحقیق در پی پاسخ به این سوال است که پنجره‌های بیمارستان‌های شهر مشهد از چه مشخصات کالبدی می‌بایست برخوردار باشند تا از طریق جذب بهینه انرژی خورشیدی علاوه بر نیل به آسایش حرارتی در محیط داخلی، سبب صرفه‌جویی بیش‌تری در مصرف انرژی نیز بشوند؟ هدف اصلی پژوهش پیش رو بهینه‌سازی مصرف انرژی در فضاهای بیمارستانی شهر مشهد از طریق طراحی پنجره خارجی آن‌ها می‌باشد. به منظور دستیابی به این هدف، از ابزار الگوریتمیک و فرآیند طراحی منطبق بر آن، بهره گرفته شده است.

۲. ادبیات موضوع

در دهه اخیر هزینه‌های بهداشت جهانی تقریباً ۱۰ درصد از تولید ناخالص داخلی^۱ را تشکیل می‌دهد. به عنوان مثال ایالات متحده آمریکا بیش‌ترین هزینه را (۱۷.۱ درصد) نسبت به کشورهای دیگر برای سیستم مراقبت‌های

بهداشتی خود کرده است^۲. در این کشور امکانات بهداشتی و درمانی ۴.۸ درصد از کل مساحت ساختمان‌های تجاری را تشکیل می‌دهند و مسئول ۱۰.۳ درصد از کل مصرف انرژی در این بخش هستند (CBCECS 2019). این مقدار انرژی مسئول سطح قابل توجهی از آلودگی‌های محیطی و انتشار گازهای گلخانه‌ای از جمله باران اسیدی (۱۲ درصد)، گازهای گلخانه‌ای (۱۰ درصد) و آلودگی هوا (۱۰ درصد) می‌باشد (González, García-Sanz-Calcedo, and Salgado 2018). مصرف انرژی در سیستم‌های مراقبت‌های بهداشتی ایالت متحده، عمدتاً به دلیل گرمایش و سرمایش فضاها، تولید بخار، تهویه، روشنایی، استفاده از تجهیزات، آب گرم و پخت‌وپز است (Singer 2009). بیمارستان‌های بزرگ آمریکا، ۴۷ درصد از کل مساحت مراکز درمانی را تشکیل می‌دهند و با میانگین شدت انرژی ۷۳۸.۵ کیلو وات ساعت بر متر مربع، مسئول ۶۴ درصد کل مصرف انرژی این بخش هستند. همچنین مراکز بستری که ۵۷ درصد از کل مساحت سیستم‌های مراقبت‌های بهداشتی را تشکیل می‌دهند، ۷۶.۵ درصد از کل انرژی این بخش را مصرف می‌کنند. پژوهشی که در رابطه با مصرف برق در بیمارستان‌های این کشور انجام شد، نشان داد تهویه، سرمایش و روشنایی بیش‌ترین مصرف برق را به خود اختصاص می‌دهند (Bawaneh et al. 2019).

مطالعات سایر کشورها نیز مؤید بالابودن مصرف انرژی در بیمارستان‌ها است. ممیزی انرژی یک بیمارستان مالزی نشان داد که تجهیزات روشنایی و زیست پزشکی با شدت انرژی ۲۳۴ کیلووات ساعت بر متر مربع بیش‌ترین مقدار انرژی را مصرف می‌کنند (به ترتیب ۳۶ و ۳۴ درصد) (Saidur et al. 2010). در مطالعه دیگری بر روی ۲۱۰ بیمارستان در تایلند، نشان داده شد مصرف برق ۳۱.۶۱ درصد از کل انرژی مورد نیاز این بیمارستان‌ها را به خود اختصاص داده است (N. Thinate, Wongsapai, and Damrongsak 2017). تجزیه و تحلیل داده‌های مصرف انرژی دو بیمارستان در کره شدت الکتریسیته ۱۲۸ کیلووات ساعت بر متر مربع در سال را نشان داد (Chung and Park 2015). تجزیه و تحلیل کمی مصرف انرژی در ۲۰ بیمارستان اسپانیا شدت انرژی ۲۷۰ کیلووات ساعت بر متر مربع را نشان داد (González, García-Sanz-Calcedo, and Salgado 2018). کمی‌سازی داده‌های انرژی در بیمارستان‌های آلمان نیز در پژوهشی دیگر مورد بررسی قرار گرفت. پژوهندگان اعلام کردند که ۲۱۰۰ بیمارستان در آلمان حدود ۶۰۰۰ کیلووات ساعت برق در هر تخت در سال مصرف می‌کنند (González, García-Sanz-Calcedo, and Salgado 2018). مورگنسترن و همکاران داده‌های مصرف برق را در ۲۸ بخش در هشت بیمارستان حاد عمومی متوسط تا بزرگ در انگلستان مورد مطالعه قرار داده و تأیید کردند که بخش‌های مختلف،

روز تعادل برقرار کند. آن‌ها ۳۰-۴۰ WWR(%) را به عنوان محدوده بهینه پنجره پیشنهاد دادند (Sherif et al. 2014). "شیلجا باگوات" و همکاران در تحقیقی که با هدف و روش مشابه در بیمارستانی در شهر پونه، هند انجام شد نشان دادند بسته به شرایط طراحی WWR می‌تواند بین ۳۰-۷۰ درصد متغیر باشد (Bhagwat et al. 2019). در تحقیق "سیلویا سزاری" و همکاران که به وسیله مدل‌سازی و شبیه‌سازی اتاق‌های بستری بیمارستانی در بولونیا، ایتالیا انجام شد عملکرد انرژی یک پنجره پایه با $WWR=25$ درصد و یک پنجره با $WWR=70$ درصد در اتاق‌هایی که رو به چهار جهت مختلف جغرافیایی قرار داشت، مقایسه شد. نتایج نشان داد که استفاده از پنجره‌های عریض‌تر با میزان تشعشع مناسب می‌تواند تقاضای انرژی را به میزان زیادی کاهش دهد (Cesari et al. 2020). "چانگلو" و همکاران در شرایطی مشابه در بیمارستانی در تایلند با مقایسه پنجره‌هایی در محدوده $WWR=80-20$ درصد نشان دادند $WWR=50$ درصد شرایط مطلوب‌تر روشنایی و انرژی را سبب می‌شود (Chungloo et al. 2001). پیش‌بینی می‌شود با استفاده از استراتژی طراحی غیرفعال، میانگین عملکرد انرژی سالانه بیمارستان‌ها تا سال ۲۰۶۰ به ۱۸۴ درصد افزایش یابد (Yuan et al. 2022).

۳. روش تحقیق

جهت انجام مدل‌سازی از نرم‌افزار پارامتریک گرس‌هاپر که به صورت پلاگین بر روی راینو نصب می‌شود، استفاده شده است. مراحل آنالیز و شبیه‌سازی با استفاده از پلاگین‌های شبیه‌سازی انرژی در گرس‌هاپر به نام هانی‌بی و لیدی‌باگ ادامه پیدا می‌کند. علی‌رغم گستردگی دامنه‌ی نرم‌افزارهای شبیه‌سازی و بهینه‌سازی مصرف انرژی، به جهت برخورداری از افزونه‌های سنجش نور طبیعی در نرم‌افزار گرس‌هاپر از این نرم‌افزار استفاده شده است. در نرم‌افزار مدل‌سازی گرس‌هاپر، می‌توان مدل ساختمان مورد نظر را با شرایط اقلیمی واقعی شبیه‌سازی کرد تا مشخص گردد که ساختمان مورد نظر در شرایط واقعی چگونه عمل می‌کند؛ سپس با وارد کردن پارامترهای اقلیمی و کاربردی به پلاگین‌های انرژی لیدی‌باگ و هانی‌بی می‌توان اثرات عناصر طراحی را بر روی پارامترهای مورد نظر بررسی نمود. کتابخانه پایگاه‌های داده‌ای در این پلاگین‌ها متصل به کتابخانه‌های داده‌ای در نرم‌افزار انرژی پلاس بوده که با موتور آنالیز داده‌ای آن در بستری الگوریتمیک تحلیل داده‌ها را انجام می‌دهد. داده‌های ورودی اقلیمی، مبتنی بر استانداردهای اشری بوده که بر اساس اقلیم شهر مشهد تنظیم شده‌اند.

۳-۱- مدول پایه

«استاندارد برنامه‌ریزی و طراحی بیمارستان ایمن، جلد

ویژگی‌های مصرف برق غیرهمگن قابل‌توجهی دارند (Morgenstern et al. 2016). ارزیابی ۵۵ مرکز مراقبت بهداشتی در اسپانیا با مساحت ۵۰۰ تا ۳۵۰۰ متر مربع، میانگین مصرف انرژی سالانه ۸۶ کیلووات ساعت بر متر مربع را نتیجه‌گیری کرد (García-Sanz-Calcedo 2014). مرور اعداد فوق نشان می‌دهد بیمارستان‌ها تقاضای زیادی برای روشنایی، تهویه مطبوع و گرمایش و سرمایش خصوصا در قسمت مصرف برق دارند. بنابراین، ضرورت کاهش بودجه‌های بیمارستانی و فشار سیاسی که به دنبال کاهش هزینه‌های مراقبت‌های بهداشتی است، نیاز به پیش‌بینی و ارزیابی‌های مبتنی بر صرفه‌جویی انرژی و هزینه را نشان می‌دهد. در بیمارستان‌ها، اتاق‌های بیماران با ارائه خدمات مراقبت‌های بهداشتی ۲۴ ساعته و هفت روز هفته، به دلیل نیاز به نرخ تهویه بالا و الزامات سخت‌گیرانه‌تر آن‌ها برای کنترل ریزاقلیمی، مصرف انرژی بالایی در جهت گرمایش و سرمایش دارند، خصوصا این‌که قرارگرفتن اتاق‌های بیماران در نواحی محیطی ساختمان برای اطمینان از دریافت حداکثر نور طبیعی، بالاترین قسمت سطح خارجی را به آن‌ها ارائه می‌دهند. این عامل یکی از عناصری است که در مصرف انرژی قابل توجه در آن‌ها نقش دارد. از طرف دیگر، بیمارستان‌های کم مصرف اغلب منجر به وخامت کیفیت محیط داخلی و تاثیر بر آسایش مطلوب می‌شوند. مساله اصلی، مدیریت انرژی و آسایش در اتوماسیون بیمارستان و ایجاد تعادل بین راحتی کاربران و مصرف انرژی است (Gatea, Batcha, and Taweekun 2020). نشان داده شده است که بین دستیابی به بهره‌وری انرژی در ساختمان‌ها و عملکرد کیفیت محیط داخلی رابطه معکوس وجود دارد. به گونه‌ای که عملکرد کیفیت محیط داخلی در ساختمان‌هایی که سیستم حرارتی و روشنایی به عنوان بخشی از پارامترهای ارزیابی بیمارستان توسط بهره‌برداران قلمداد شده، به مصرف بیش‌تر انرژی ساختمان منجر شده است (Stephen Nimlyat, Kandar, and Sediadi 2015). تعیین "نسبت بهینه پنجره به دیوار" (WWR) خصوصا در اتاق‌های بستری بیماران به گونه‌ای که ضمن دریافت بالاترین حد نور طبیعی در محدوده شاخص‌های مطلوب نور روز و عدم ایجاد خیرگی چشم، بالاترین کارایی انرژی را نیز موجب شود، موضوع تحقیقات بسیاری در دهه گذشته بوده است (Rose 2017; Shikder et al. 2010). این تحقیقات، ساختمان بیمارستان را در بستر نرم‌افزارهای شبیه‌ساز روشنایی و انرژی، شبیه‌سازی کرده و با ورود داده‌های لازم از جمله اطلاعات آب و هوایی هر منطقه، WWR بهینه را پیشنهاد می‌دهند.

"احمد شریف" و همکاران برای شناسایی کارآمدترین طرح‌های اتاق‌های بستری بیماران یک بیمارستان در آب و هوای بیابانی قاهره مصر با استفاده از تکنیک‌های شبیه‌سازی بر راه‌حل‌هایی متمرکز شدند که بین کاهش مصرف انرژی و دستیابی به توزیع مناسب نور

تغییر کرده است. در این حالت، عایق‌کاری بیش‌تر شده و میزان انتقال هدایت حرارتی کلیه مصالح کاهش یافته است. دیوار و کف به ترتیب، بلوک منبسط‌شونده بر پایه ماسه و سقف بتنی هر دو با عایق ۵ سانتی‌متر انتخاب شده است. حالت مبحث ۱۹ و حالت پیشنهادی دارای سایبان‌هایی با مشخصات سایه‌بان برای شهر مشهد طبق پیوست ۱۰ می‌باشد. برای مصالح مربوط به پنجره نیز به ترتیب از شیشه‌ی تک‌جلداره، دوجداره و سه‌جلداره‌ی UPVC استفاده شده است.

با احتساب ۴۰ سانتی‌متر ضخامت سقف، ۱۳۰ سانتی‌متر ارتفاع سقف کاذب، ۴۵ و ۹۰ سانتی‌متر حد بالا و پایین پنجره از کف و سقف و ۱۰ سانتی‌متر ضخامت قاب‌های اطراف پنجره، نهایتاً ۱۸۵ سانتی‌متر جهت استقرار پنجره باقی خواهد ماند؛ بنابراین پنجره در محدوده ۴-۵۶ درصد سطح دیوار می‌تواند نوسان داشته باشد.

۴. تبیین و تحلیل داده‌های شبیه‌سازی

جداول و شکل‌های ۴-۱ نتایج شبیه‌سازی مدول مورد مطالعه در چهار جهت جغرافیایی و سه حالت مورد مطالعه را نشان می‌دهند. در جداول، EUI، مصرف انرژی؛ UDI کم‌تر از ۱۰۰، درصد فضاهای تاریک؛ UDI بالای ۲۰۰۰، مقادیر با روشنایی بیش از حد با ایجاد خیرگی و UDI بین ۱۰۰ تا ۲۰۰۰، محدوده مطلوب‌ترین نور است. بر اساس استاندارد، SDA یا کفایت نور روز در فضا می‌بایست بیش‌تر از ۵۵ درصد باشد.

دهم» به عنوان مرجع ارائه الزامات عمومی طراحی بیمارستان، ضمن این‌که طراحی مدولار را جهت طرح بیمارستان‌ها اولویت دانسته، مدولی با طول و عرض ۷.۲ متر را به عنوان مدول بهینه معرفی نموده است. بر این اساس جهت شبیه‌سازی، مدولی با طول و عرض برابر ۷.۲ متر و ارتفاع ۵ متر به عنوان شکل پایه انتخاب شد.

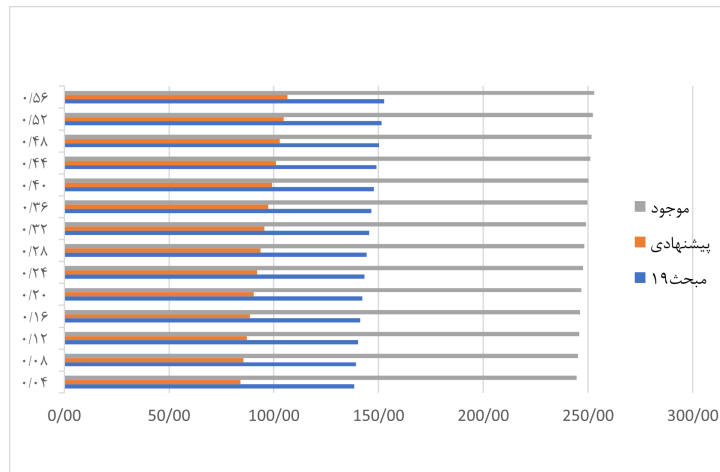
۳-۲- روش عمل

سه حالت مختلف جهت انجام شبیه‌سازی تعیین شد: حالت اول، حالت موجود و مرسوم طراحی بیمارستان‌های شهر مشهد بر اساس نوع مصالح و شیوه‌های ساخت می‌باشد. در این حالت دیوارها و بام اجباری به عایق‌کاری ندارند و سایبان نیز در نظر گرفته نمی‌شود. از آن‌جا که سازمان نظام مهندسی کشور در مبحث ۱۹ ویرایش سال ۱۳۹۸، دستورالعمل‌هایی جهت کاهش مصرف انرژی دارد، حالت دوم بر اساس طراحی و ساخت مدول پایه مطابق با دستورالعمل‌های مبحث ۱۹ شکل گرفت. در وضعیت پیشنهادی مبحث ۱۹، تمامی جبهه‌ها از جمله سقف و کف به غیر از دیوار خارجی آدیباتیک (بدون تبادل حرارتی) می‌باشند. برای سقف عایق ۳ سانتی‌متری در نظر گرفته شده و برای دیوار از بلوک سبک صنعتی و بدون عایق استفاده شده است. حالت سوم مربوط به زمانی است که طراحی و ساخت مدول پایه بر اساس شیوه‌های پیشنهادی این مطالعه شکل گرفته باشد. تمامی پیش‌فرض‌های حالت پیشنهادی مانند حالت مبحث ۱۹ مقررات ملی ساختمان بوده و فقط مصالح

جدول ۱: شاخص‌های روشنایی و مصرف انرژی در نسبت‌های مختلف پنجره به دیوار پنجره شمالی در سه حالت مورد مطالعه

WWR	EUI وضع موجود	EUI مبحث ۱۹	EUI پیشنهادی	UDI ≤ ۱۰۰	UDI ۱۰۰-۲۰۰۰	UDI ≥ ۲۰۰۰	SDA
۰.۰۴	۲۴۴.۴۸	۱۳۸.۳۱	۸۴.۱۲	۹۰.۷۶	۹.۲۴	۰.۰۲	۲.۰۴
۰.۰۸	۲۴۵.۰۹	۱۳۹.۲۵	۸۵.۵۰	۷۷.۹۴	۲۱.۶۷	۰.۴۱	۴.۰۸
۰.۱۲	۲۴۵.۷۰	۱۴۰.۲۶	۸۷.۰۴	۶۶.۴۷	۳۲.۷۸	۰.۷۶	۱۲.۲۴
۰.۱۶	۲۴۶.۲۷	۱۴۱.۲۴	۸۸.۶۵	۵۴.۲۹	۴۴.۷۸	۱.۰۲	۱۴.۲۹
۰.۲۰	۲۴۶.۸۹	۱۴۲.۲۹	۹۰.۳۴	۳۹.۱۸	۵۹.۱۸	۱.۶۵	۱۸.۳۷
۰.۲۴	۲۴۷.۵۳	۱۴۳.۳۶	۹۲.۰۲	۲۵.۶۷	۷۱.۹۸	۲.۳۹	۲۲.۴۵
۰.۲۸	۲۴۸.۲۱	۱۴۴.۴۰	۹۳.۷۱	۱۷.۷۳	۷۹.۴۷	۲.۸۶	۲۸.۵۷
۰.۳۲	۲۴۸.۹۶	۱۴۵.۵۰	۹۵.۴۵	۱۲.۸۰	۸۳.۹۴	۳.۲۹	۳۴.۶۹
۰.۳۶	۲۴۹.۶۸	۱۴۶.۶۵	۹۷.۲۶	۹.۸۰	۸۶.۳۷	۳.۸۴	۴۲.۸۶
۰.۴۰	۲۵۰.۳۴	۱۴۷.۸۲	۹۹.۱۴	۷.۶۳	۸۷.۸۰	۴.۵۵	۴۸.۹۸
۰.۴۴	۲۵۰.۹۹	۱۴۹.۰۳	۱۰۰.۹۶	۶.۵۹	۸۷.۹۸	۵.۴۷	۴۸.۹۸
۰.۴۸	۲۵۱.۷۰	۱۵۰.۱۸	۱۰۲.۷۸	۵.۹۲	۸۸.۰۸	۶.۰۲	۵۷.۱۴
۰.۵۲	۲۵۲.۳۹	۱۵۱.۴۱	۱۰۴.۶۲	۵.۴۱	۸۸.۰۸	۶.۴۹	۵۷.۱۴
۰.۵۶	۲۵۳.۰۰	۱۵۲.۶۶	۱۰۶.۵۴	۴.۹۸	۸۷.۸۰	۷.۲۰	۶۳.۲۷

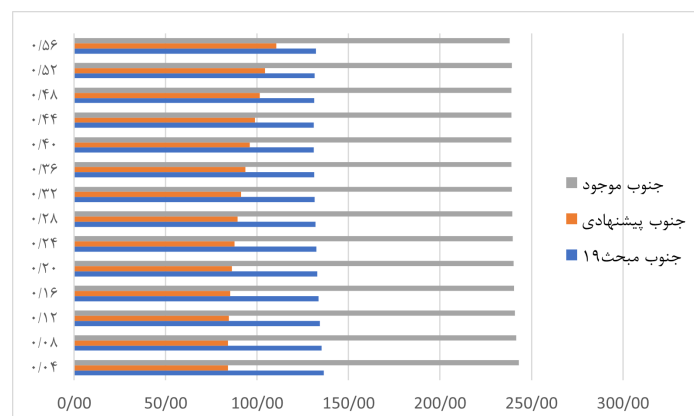
شکل ۱: مقایسه مصرف انرژی در نسبت‌های مختلف پنجره به دیوار پنجره شمالی در سه حالت مورد مطالعه



جدول ۲: شاخص‌های روشنایی و مصرف انرژی در نسبت‌های مختلف پنجره به دیوار پنجره جنوبی در سه حالت مورد مطالعه

WWR	EUI وضع موجود	EUI مبحث ۱۹	EUI پیشنهادی	UDI ≤ ۱۰۰	UDI ۱۰۰-۲۰۰	UDI ≥ ۲۰۰	SDA
۰/۰۴	۲۴۲/۹۸	۱۳۶/۴۰	۸۴/۱۰	۸۰/۲۰	۱۸/۲۰	۱/۶۵	۲/۰۴
۰/۰۸	۲۴۱/۵۷	۱۳۵/۳۳	۸۴/۱۴	۶۲/۲۲	۳۵/۰۲	۲/۸۶	۱۲/۲۴
۰/۱۲	۲۴۰/۹۸	۱۳۴/۴۰	۸۴/۴۲	۴۷/۹۰	۴۸/۱۲	۴/۰۸	۱۴/۲۹
۰/۱۶	۲۴۰/۴۹	۱۳۳/۵۷	۸۵/۲۹	۳۵/۸۲	۵۹/۲۴	۴/۹۸	۱۸/۳۷
۰/۲۰	۲۴۰/۱۵	۱۳۲/۸۸	۸۶/۳۱	۲۵/۴۳	۶۷/۸۶	۶/۶۹	۲۴/۴۹
۰/۲۴	۲۳۹/۷۷	۱۳۲/۲۹	۸۷/۶۶	۱۸/۰۰	۷۴/۰۴	۷/۹۴	۳۲/۶۵
۰/۲۸	۲۳۹/۴۴	۱۳۱/۸۲	۸۹/۳۲	۱۳/۲۰	۷۷/۳۵	۹/۴۹	۳۶/۷۳
۰/۳۲	۲۳۹/۲۲	۱۳۱/۴۸	۹۱/۲۴	۱۰/۲۴	۷۹/۲۴	۱۰/۶۱	۴۶/۹۴
۰/۳۶	۲۳۹/۰۹	۱۳۱/۱۷	۹۳/۵۱	۸/۰۸	۸۰/۰۶	۱۱/۸۶	۴۸/۹۸
۰/۴۰	۲۳۸/۹۵	۱۳۱/۰۶	۹۵/۹۵	۶/۷۸	۷۹/۸۸	۱۳/۳۹	۵۹/۱۸
۰/۴۴	۲۳۹/۰۰	۱۳۰/۹۷	۹۸/۷۱	۵/۸۸	۷۹/۲۲	۱۴/۹۲	۶۵/۳۱
۰/۴۸	۲۳۹/۰۶	۱۳۱/۱۴	۱۰۱/۳۹	۵/۴۷	۷۸/۳۹	۱۶/۲۲	۶۷/۳۵
۰/۵۲	۲۳۹/۲۳	۱۳۱/۴۴	۱۰۴/۲۳	۵/۰۴	۷۷/۶۵	۱۷/۲۹	۷۱/۴۳
۰/۵۶	۲۳۸/۰۶	۱۳۲/۰۵	۱۱۰/۵۹	۴/۹۰	۷۶/۵۵	۱۸/۵۱	۷۷/۵۵

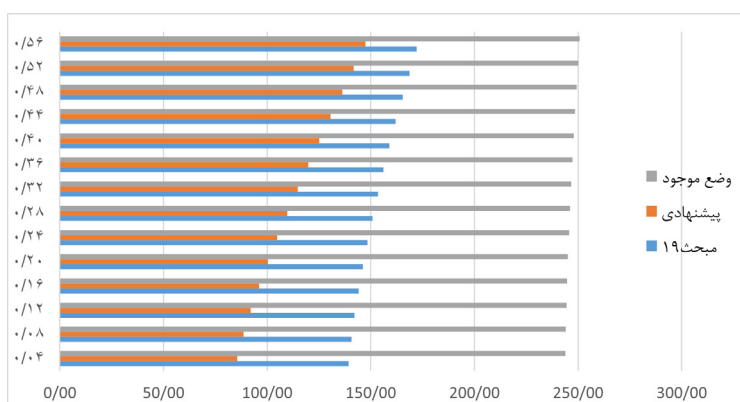
شکل ۲: مقایسه مصرف انرژی در نسبت‌های مختلف پنجره به دیوار پنجره جنوبی در سه حالت مورد مطالعه



جدول ۳: شاخص‌های روشنایی و مصرف انرژی در نسبت‌های مختلف پنجره به دیوار پنجره شرقی در سه حالت مورد مطالعه

WWR	EUI وضع موجود	EUI مبحث ۱۹	EUI پیشنهادی	UDI ≤ 100	UDI ۱۰۰-۲۰۰۰	UDI ≥ 2000	SDA
۰.۰۴	۲۴۳.۹۵	۱۳۹.۲۰	۸۵.۵۵	۸۱.۹۰	۱۶.۶۵	۱.۴۹	۲۰.۴
۰.۰۸	۲۴۴.۱۷	۱۴۰.۶۲	۸۸.۵۲	۶۴.۶۹	۳۲.۵۵	۲.۷۸	۸.۱۶
۰.۱۲	۲۴۴.۴۹	۱۴۲.۱۴	۹۲.۰۶	۵۰.۷۸	۴۵.۴۵	۳.۷۸	۱۶.۳۳
۰.۱۶	۲۴۴.۷۸	۱۴۴.۰۷	۹۶.۱۲	۳۸.۰۸	۵۶.۸۶	۵.۰۴	۲۰.۴۱
۰.۲۰	۲۴۵.۱۷	۱۴۶.۱۱	۱۰۰.۳۶	۲۷.۶۵	۶۵.۲۷	۷.۰۶	۲۲.۴۵
۰.۲۴	۲۴۵.۶۵	۱۴۸.۳۹	۱۰۴.۷۹	۱۸.۶۹	۷۲.۶۱	۸.۷۸	۳۲.۶۵
۰.۲۸	۲۴۶.۱۱	۱۵۰.۸۳	۱۰۹.۷۹	۱۳.۹۰	۷۶.۰۲	۱۰.۱۴	۴۲.۸۶
۰.۳۲	۲۴۶.۶۵	۱۵۳.۴۳	۱۱۴.۷۸	۱۰.۵۱	۷۸.۱۶	۱۱.۲۲	۴۲.۸۶
۰.۳۶	۲۴۷.۲۳	۱۵۶.۰۵	۱۱۹.۸۵	۸.۵۱	۷۸.۶۱	۱۳.۰۰	۵۱.۰۲
۰.۴۰	۲۴۷.۸۷	۱۵۸.۹۵	۱۲۵.۱۵	۶.۵۹	۷۸.۳۵	۱۵.۰۶	۵۵.۱۰
۰.۴۴	۲۴۸.۵۸	۱۶۲.۰۰	۱۳۰.۶۶	۵.۸۸	۷۷.۵۷	۱۶.۵۵	۶۳.۲۷
۰.۴۸	۲۴۹.۲۷	۱۶۵.۳۶	۱۳۶.۱۸	۵.۳۱	۷۶.۶۳	۱۸.۰۰	۶۹.۳۹
۰.۵۲	۲۵۰.۰۷	۱۶۸.۷۸	۱۴۱.۶۸	۴.۹۸	۷۵.۹۸	۱۹.۱۴	۶۹.۳۹
۰.۵۶	۲۵۰.۸۴	۱۷۲.۱۴	۱۴۷.۳۴	۴.۶۳	۷۴.۲۴	۲۱.۱۴	۶۹.۳۹

شکل ۳: مقایسه مصرف انرژی در نسبت‌های مختلف پنجره به دیوار پنجره شرقی در سه حالت مورد مطالعه

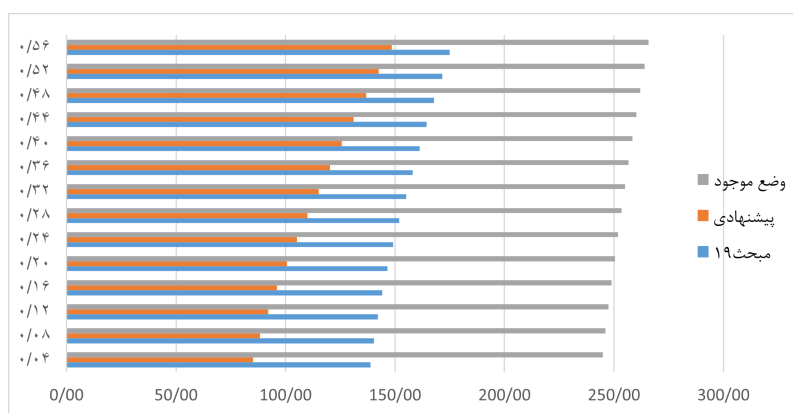


جدول ۴: شاخص‌های روشنایی و مصرف انرژی در نسبت‌های مختلف پنجره به دیوار پنجره غربی در سه حالت مورد مطالعه

WWR	EUI وضع موجود	EUI مبحث ۱۹	EUI پیشنهادی	UDI ≤ 100	UDI ۱۰۰-۲۰۰۰	UDI ≥ 2000	SDA
۰.۰۴	۲۴۴.۹۹	۱۳۸.۷۷	۸۵.۲۳	۸۵.۸۸	۱۳.۳۱	۰.۸۸	۲۰.۴
۰.۰۸	۲۴۶.۲۱	۱۴۰.۴۲	۸۸.۳۰	۷۱.۲۹	۲۶.۸۶	۱.۹۴	۸.۱۶
۰.۱۲	۲۴۷.۵۳	۱۴۲.۲۰	۹۲.۰۷	۵۹.۰۶	۳۸.۳۳	۲.۶۳	۱۲.۲۴
۰.۱۶	۲۴۸.۹۱	۱۴۴.۱۸	۹۶.۱۹	۴۸.۳۹	۴۸.۴۷	۳.۲۰	۱۴.۲۹
۰.۲۰	۲۵۰.۴۱	۱۴۶.۵۱	۱۰۰.۶۳	۳۷.۶۹	۵۸.۱۸	۴.۱۶	۲۰.۴۱
۰.۲۴	۲۵۱.۹۴	۱۴۹.۱۱	۱۰۵.۲۴	۲۶.۶۱	۶۸.۱۴	۵.۲۴	۲۰.۴۱
۰.۲۸	۲۵۳.۴۷	۱۵۱.۹۷	۱۱۰.۰۰	۱۸.۸۴	۷۴.۹۲	۶.۲۰	۲۸.۵۷

WWR	EUI وضع موجود	EUI مبحث ۱۹	EUI پیشنهادی	$UDI \leq 100$	UDI ۱۰۰-۲۰۰۰	$UDI \geq 2000$	SDA
۰.۳۲	۲۵۴.۹۹	۱۵۵.۰۴	۱۱۵.۱۳	۱۴.۵۱	۷۸.۶۹	۶.۷۸	۳۴.۶۹
۰.۳۶	۲۵۶.۷۱	۱۵۸.۲۰	۱۲۰.۳۶	۱۱.۱۶	۸۱.۰۴	۷.۸۴	۴۰.۸۲
۰.۴۰	۲۵۸.۴۶	۱۶۱.۲۸	۱۲۵.۶۴	۸.۶۳	۸۲.۵۵	۸.۸۶	۴۴.۹۰
۰.۴۴	۲۶۰.۲۴	۱۶۴.۵۵	۱۳۱.۱۵	۷.۱۲	۸۲.۹۰	۹.۹۴	۵۱.۰۲
۰.۴۸	۲۶۲.۱۲	۱۶۷.۹۲	۱۳۶.۸۷	۶.۳۹	۸۲.۸۶	۱۰.۸۰	۵۵.۱۰
۰.۵۲	۲۶۴.۰۱	۱۷۱.۵۱	۱۴۲.۶۵	۵.۹۰	۸۲.۶۵	۱۱.۳۹	۵۷.۱۴
۰.۵۶	۲۶۵.۷۹	۱۷۵.۰۵	۱۴۸.۴۹	۵.۴۷	۸۲.۰۲	۱۲.۵۵	۶۱.۲۲

شکل ۴: مقایسه مصرف انرژی در نسبت‌های مختلف پنجره به دیوار پنجره غربی در سه حالت مورد مطالعه



عایق، گرمای بیش‌تری در زمستان وارد فضا شده و انرژی گرمایشی کم‌تری مصرف می‌شود، در نتیجه EUI برای این حالت به طور خاص با افزایش ابعاد پنجره کاهش می‌یابد، البته این کاهش تا ۴۴ درصد مشاهده می‌شود و در پنجره‌های بزرگ‌تر، مصرف انرژی هر چند به مقدار کم، افزایش می‌یابد. میزان نور مفید و عدم ایجاد خیرگی در محدوده بین ۳۲ تا ۳۶ قرار دارد. از آن‌جا که شاخص مطلوب SDA در ۳۶ درصد قرار داشته و همچنین مصرف انرژی در این حالت کم‌تر است، پیشنهاد برای جبهه جنوب، $WWR=36$ درصد می‌باشد.

پنجره غربی با مصرف انرژی بین ۲۴۴ تا ۲۶۶ بیش‌ترین اتلاف انرژی را نسبت به سایر حالات دارا می‌باشد. بین ۴۰ تا ۴۸ درصد روشنایی مطلوب اتفاق می‌افتد و چون مصرف انرژی در پنجره کوچک‌تر، کم‌تر است. $WWR=40$ درصد پیشنهاد می‌شود.

در حالت وضعیت موجود، بازه مصرف انرژی بین ۲۶۶-۲۳۹ می‌باشد. مقایسه مصرف انرژی تمامی جبهه‌ها در این حالت نشان می‌دهد که پنجره غرب بیش‌ترین و پنجره جنوبی کم‌ترین اتلاف انرژی را داراست. نمودار شمال و شرق در میانه قرار داشته و نسبتاً شبیه به هم رفتار می‌کنند. با وجود این که با بیش‌تر شدن ابعاد پنجره در تمامی جبهه‌ها، میزان نورگیری فضا و مصرف انرژی

۴-۱- تحلیل نتایج شبیه‌سازی در حالت وضع موجود

طبق نتایج به‌دست آمده از بررسی وضع موجود، در جبهه شمال مصرف انرژی در محدوده بین ۲۴۴ تا ۲۵۳ قرار دارد و با بیش‌تر شدن ابعاد پنجره، مصرف انرژی نیز بیش‌تر می‌شود. میزان نور نیز به همین صورت افزایش می‌یابد. در $WWR=40$ درصد شاخص SDA، به مقدار مطلوب خود می‌رسد. همچنین محدوده بین ۴۰ تا ۵۶، شاخص $UDI 100-2000$ نیز در حداکثر مقدار خود قرار دارد، به این معنی که روشنایی مطلوب در بهترین حالت می‌باشد. بنابراین در $WWR=40$ درصد هم نور مطلوب است، هم مصرف انرژی کم‌تر می‌باشد. البته در صورت اهمیت بیش‌تر مصرف انرژی، می‌توان ابعاد پنجره را کاهش داد.

در حالت پنجره رو به سمت شرق، مصرف انرژی با وضعیت بهتری نسبت به پنجره شمالی، بین ۲۴۴ تا ۲۵۰ مواجه می‌باشد. در این حالت روشنایی مطلوب بین ۳۲ تا ۳۶ قرار می‌گیرد. به علت این که مصرف انرژی در حالت ۳۲ درصد کم‌تر می‌باشد، این نسبت پنجره به دیوار پیشنهاد می‌شود. در پنجره‌های جنوبی مصرف انرژی بین ۲۴۲ تا ۲۳۹ قرار می‌گیرد. در این جبهه با افزایش ابعاد پنجره، به دلیل دریافت نور مستقیم خورشید و مصالح استفاده‌شده بدون

برای جبهه جنوب $WWR=36$ درصد می‌باشد. در حالت پنجره غربی مصرف انرژی بین ۱۳۸ تا ۱۷۵ بوده که مشابه پنجره شرقی ائتلاف انرژی زیادی دارد. روشنایی مطلوب نیز بین ۴۰ تا ۴۸ درصد صورت می‌پذیرد، لذا $WWR=40$ درصد پیشنهاد می‌شود.

بازه مصرف انرژی در حالت مبحث ۱۹ بین ۱۳۰-۱۷۵ می‌باشد. مقایسه مصرف انرژی تمامی جبهه‌های مبحث ۱۹، نتیجه می‌دهد. در این وضعیت نیز پنجره غرب و شرق بیش‌ترین و پنجره جنوبی کم‌ترین ائتلاف انرژی را دارد که حدوداً ۱۰۰ کیلووات از حالت مشابه وضع موجود کم‌تر است.

۳-۴- تحلیل نتایج شبیه‌سازی در وضعیت پیشنهادی

در پنجره شمالی حالت پیشنهادی مصرف انرژی بین ۸۴ تا ۱۰۶ در نوسان است. از لحاظ بررسی شاخص‌های روشنایی نیز نسبت مناسب برای این مدول ۴۰ تا ۴۴ درصد است. با توجه به روند افزایشی مصرف انرژی ترجیحاً کم‌ترین درصدی که به روشنایی مطلوب می‌رسد، پیشنهاد می‌شود (۴۰ درصد).

شکل ۵ مصرف انرژی ماهانه این پنجره را از ژانویه تا دسامبر نشان می‌دهد. مقدار انرژی لازم برای سرمایش و گرمایش در مجموع تقریباً میزان برابری را به خود اختصاص داده‌اند.

طبق شکل ۶ شاخص نور مطلوب در بیش‌تر سطح اتاق ۱۰۰ درصد بوده و کیفیت نوری بسیار مناسبی را نشان می‌دهد. شاخص DLA که روشنایی بالای ۳۰۰ لوکس را نشان می‌دهد، نیمی از فضا را دربرگرفته است. مقایسه این شکل با شکل شاخص UDI نشان می‌دهد نیمی از اتاق بیش‌تر از ۳۰۰ لوکس و نیمی دیگر بین ۱۰۰ تا ۳۰۰ لوکس نور دریافت می‌کند که با توجه به جهت‌گیری شمالی و عدم تابش نور مستقیم خورشید به این جبهه، میزان نور بسیار مناسب می‌باشد.

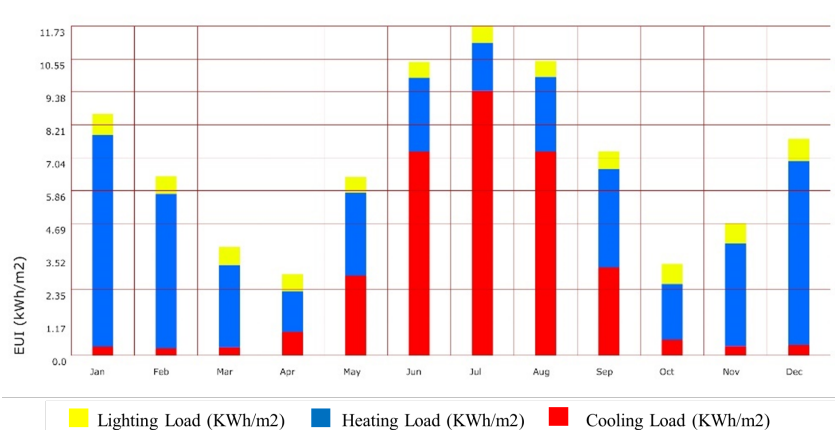
بیش‌تر می‌شود، تنها در جهت جنوب به طور خاص با افزایش ابعاد پنجره و افزایش نورگیری، مصرف انرژی کاهش می‌یابد، البته این کاهش تا ۴۴ درصد مشاهده می‌شود و در پنجره‌های بزرگ‌تر، مصرف انرژی هر چند به مقدار کم، افزایش می‌یابد.

۴-۲- تحلیل نتایج شبیه‌سازی در حالت مبحث نوزدهم مقررات ملی ساختمان ایران

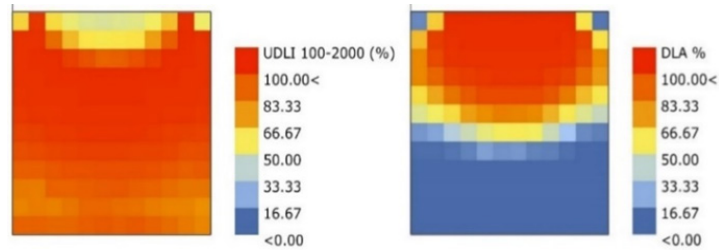
در جبهه شمال مصرف انرژی در محدوده بین ۱۵۲ تا ۱۳۸ قرار دارد که حدوداً ۱۰۰ کیلووات از حالت مشابه وضع موجود کم‌تر است، همچنین با بزرگ‌تر شدن پنجره مصرف انرژی نیز بیش‌تر می‌شود. میزان نور نیز با بیش‌تر شدن ابعاد پنجره افزایش می‌یابد، به طوری که در پنجره‌های بیش‌تر از ۴۰ درصد شاهد دریافت روشنایی مطلوبی در فضا هستیم. در $WWR=40$ درصد نور مطلوب است و مصرف انرژی تا حدودی کم‌تر می‌باشد. در حالت پنجره رو به سمت شرق مصرف انرژی بین ۱۳۹ تا ۱۷۲ بوده که نشانگر افت عملکرد انرژی نسبت به پنجره شمالی می‌باشد. قرارگیری روشنایی مطلوب بین ۳۲ تا ۳۶ و کم‌تر بودن مصرف انرژی در حد پایین این بازه، $WWR=32$ درصد را نتیجه می‌دهد.

در پنجره جنوبی مصرف انرژی بین ۱۳۰ تا ۱۳۶ می‌باشد. در این جبهه با افزایش ابعاد پنجره، به دلیل دریافت نور مستقیم خورشید و مصالح استفاده‌شده، در زمستان گرمای بیش‌تر دریافت شده و انرژی گرمایشی کم‌تری مصرف می‌شود، در نتیجه EUI برای این حالت به طور خاص با افزایش ابعاد پنجره کاهش می‌یابد. البته این کاهش تا $WWR=44$ درصد بوده و پنجره‌های بزرگ‌تر از این مقدار، باعث ائتلاف انرژی بیش‌تر و در نهایت افزایش مصرف انرژی می‌شوند. میزان نور مفید و عدم ایجاد خیرگی در محدوده بین ۳۲ تا ۴۴ قرار دارد. از آن‌جا که شاخص مطلوب SDA در ۳۶ درصد قرار داشته و همچنین مصرف انرژی در این حالت کم‌تر است، پیشنهاد

شکل ۵: مصرف انرژی ماهانه جهت روشنایی، سرمایش و گرمایش در پنجره بهینه شمالی



شکل ۶: شاخص DLA (راست) و UDI ۱۰۰-۲۰۰۰ (چپ) در پنجره بهینه شمالی

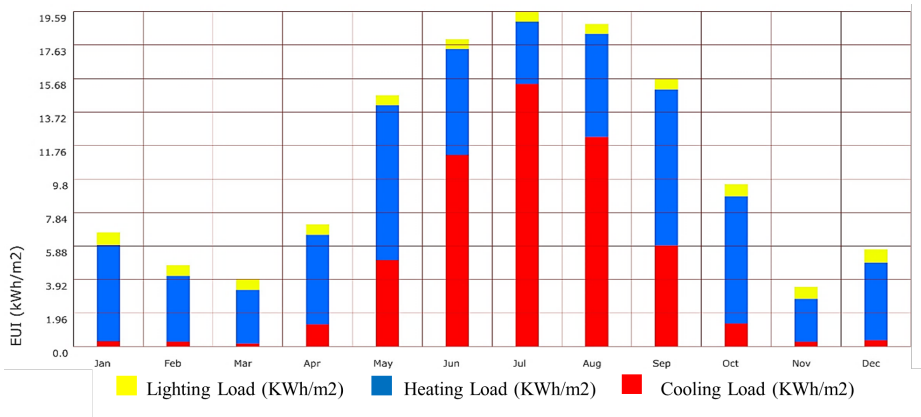


پنجره شمالی می‌باشد. مطابق شکل ۸ تقریباً ۸۰ درصد فضا برخوردار از نور مفید است و فقط در نزدیکی پنجره، روشنایی کمی بیش‌تر از ۲۰۰۰ لوکس وجود دارد. مجدداً با مقایسه شاخص‌های روشنایی فوق می‌توان دید، کم‌تر از نیمی از اتاق، روشنایی بین ۱۰۰-۳۰۰ لوکس و بیش‌تر اتاق، روشنایی ۲۰۰۰-۳۰۰ را دارا می‌باشد و فقط در ۱۰ درصد فضا، روشنایی بیش‌تر از ۲۰۰۰ لوکس اتفاق می‌افتد.

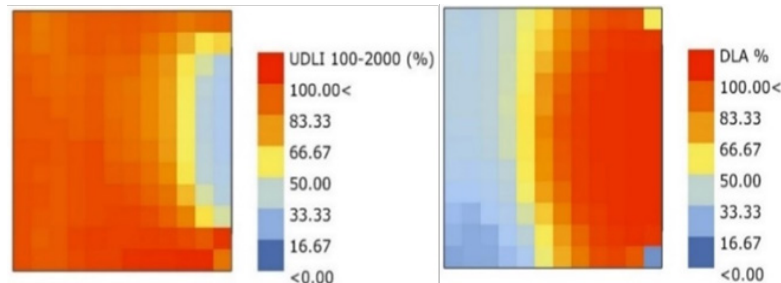
مصرف انرژی در حالت پنجره رو به سمت شرق بین ۸۵ تا ۱۴۷ بوده که نشان‌گر افزایش تصاعدی مصرف انرژی با افزایش درصد پنجره است. نور مطلوب بین ۳۶ تا ۴۰ درصد قرار دارد و نسبت کم‌تر (۳۶ درصد) برای این جبهه پیشنهاد می‌شود.

نمودار ماهانه مصرف انرژی در حالت بهینه پنجره رو به شرق نشان‌دهنده میزان مصرف بیش‌تر انرژی برای گرمایش در تابستان و میزان کم‌تر در زمستان نسبت به

شکل ۷: مصرف انرژی ماهانه جهت روشنایی، سرمایش و گرمایش در پنجره بهینه شرقی



شکل ۸: شاخص DLA (راست) و UDI ۱۰۰-۲۰۰۰ (چپ) در پنجره بهینه شرقی



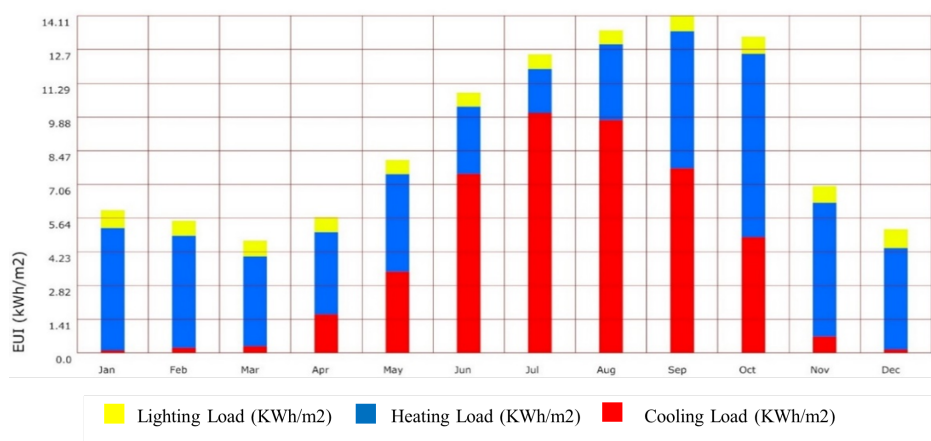
حالت بهینه‌ی درصد پنجره با توجه به شرایط نور بین ۳۲ تا ۴۰ درصد بوده که با در نظر گرفتن مصرف انرژی عددی بینابین آن‌ها توصیه می‌شود (۳۶ درصد). حالت بهینه‌ی شدت مصرف انرژی نشان‌دهنده‌ی کاهش انرژی لازم برای گرمایش در فصول خیلی سرد نسبت به جبهه شمال بوده که به‌دنبال تأثیر مثبت نور آفتاب است، ولی

در حالت پیشنهادی و پنجره‌ی رو به جنوب بر خلاف دو مدول قبلی به‌دلیل استفاده‌ی زیاد از عایق کاهش مصرف انرژی اتفاق نیفتاده است، با این وجود، حتی بیش‌ترین شدت مصرف انرژی در این حالت ۱۳۰ کیلووات از بهترین حالت وضع موجود و ۳۸ کیلووات از بهترین حالت مبحث ۱۹ بهتر عمل می‌کند.

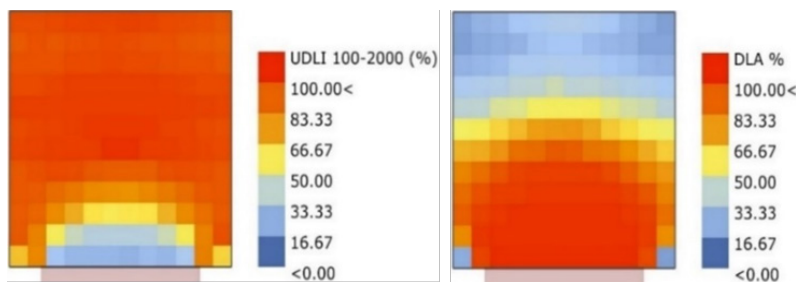
این میزان عایق بودن در شهرپور تا آبان باعث افزایش مصرف گرمایش نیز شده است. از لحاظ روشنایی بیش از نیمی از فضا نیز روشنایی مطلوب بالای ۳۰۰ لوکس را دریافت می‌کند. شاخص

UDI نشان‌دهنده برخورداری حدود ۸۰ درصد فضا از نور مطلوب دارد. شدت نور ۱۰ درصد دیگر بالای ۲۰۰۰ و ۱۰ درصد دیگر نیز کم‌تر از ۲۰۰۰ است.

شکل ۹: مصرف انرژی ماهانه جهت روشنایی، سرمایش و گرمایش در پنجره بهینه جنوبی



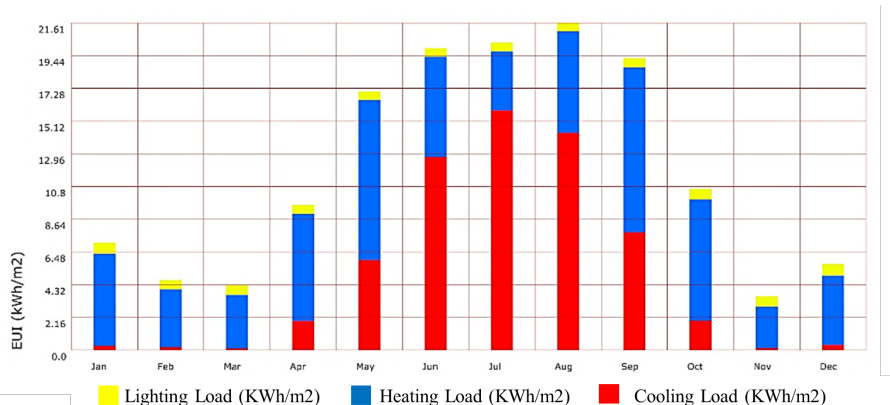
شکل ۱۰: شاخص DLA (راست) و UDI (چپ) ۱۰۰-۲۰۰۰ (چپ) در پنجره بهینه جنوبی



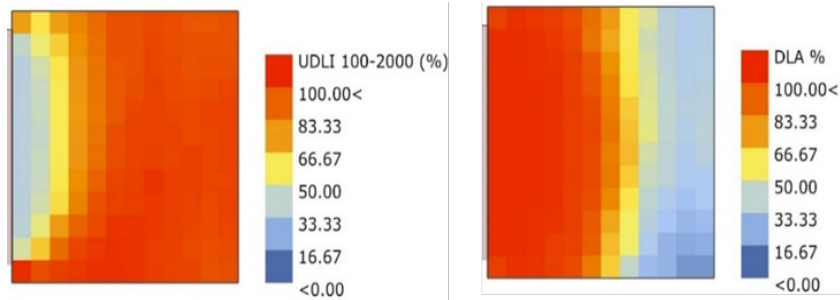
در پنجره غربی، شدت مصرف انرژی بین ۸۵ تا ۱۴۸ کیلووات بوده و تقریباً مشابه پنجره شرقی عمل می‌کند. روشنایی مطلوب بین ۳۲ تا ۴۴ درصد قرار دارد و چون مصرف انرژی هر چه نسبت پنجره به دیوار کم‌تر باشد، بهتر است، (۳۶ درصد) برای این جبهه پیشنهاد می‌شود.

شدت مصرف انرژی در حالت بهینه‌ی پنجره رو به غرب، ۱۲۰ کیلووات بوده که نسبت به جنوب با همان درصد پنجره ۲۵ کیلووات ساعت بیش‌تر است. روشنایی مطلوب نیز مانند سایر حالات تقریباً ۸۰ درصد فضا را در بر می‌گیرد.

شکل ۱۱: مصرف انرژی ماهانه جهت روشنایی، سرمایش و گرمایش در پنجره بهینه غربی



شکل ۱۲: شاخص DLA (راست) و UDI ۱۰۰-۲۰۰۰ (چپ) در پنجره بهینه غربی



در پنجره‌های کوچک، تاثیر جهت‌گیری نامناسب در مصرف انرژی بسیار کم می‌شود، ولیکن در پنجره‌های بزرگ، جهت‌گیری تاثیر زیادی بر میزان مصرف انرژی دارد. پنجره‌های بزرگ در جهت‌های شرق و غرب بیمارستان، ناکارآمدتر از دو جبهه دیگر عمل می‌کنند.

علی‌رغم این که در همه موارد با بزرگ‌تر شدن پنجره مصرف انرژی افزایش می‌یابد، در پنجره جنوبی وضعیت موجود و میحث ۱۹، با بزرگ‌شدن پنجره تا حد $WWR=44$ مصرف انرژی کاهش می‌یابد. امکان جذب بیش‌تر گرمای خورشید توسط پنجره جنوبی بزرگ‌تر، نیاز به استفاده از انرژی گرمایشی در فصول سرد را کاهش داده و سبب کاهش مصرف انرژی می‌شود. در پنجره‌های بزرگ افزایش افت حرارت، مصرف انرژی را دوباره افزایش می‌دهد.

بررسی شیب نمودارهای مصرف انرژی در همه حالت‌ها و جهت‌ها، نشان می‌دهد مصرف انرژی در پنجره‌های بزرگ‌تر وضعیت پیشنهادی، به مصرف انرژی در پنجره‌هایی با همان ابعاد در دو حالت دیگر نزدیک می‌شود. این به این معنی است نقش ملاحظاتی مانند عایق‌کاری در کاهش اتلاف انرژی تعیین‌کننده اما محدود است. لذا با وجود این که در این مطالعه نشان داده شد که در کلیه حالت‌ها، پنجره‌هایی با نسبت حدود ۳۲ تا ۴۰ درصد می‌توانند به بالاترین حد روشنایی مطلوب برسند، لزوم در نظر گرفتن حد پایین این بازه جهت کاستن از اتلاف انرژی ضروری است.

ملاحظات بهینه‌سازی طراحی پنجره‌ها در هنگام استفاده از پنجره‌های بزرگ ضرورت بیش‌تری پیدا می‌کند. در بیمارستان‌ها که به دلایل افزایش کیفیت محیطی استفاده از پنجره‌های بزرگ در اولویت است، با استفاده از روش‌های پیشنهادی این مطالعه مبتنی بر عایق‌کاری بیش‌تر پوسته خارجی و استفاده از سایه‌بان، ضمن استفاده از پنجره‌های بزرگ و ارتقاء کیفیت محیطی بیمارستان، بهره‌روی انرژی نیز افزایش می‌یابد.

الگوریتم‌های مورد استفاده در محیط شبیه‌سازی نرم‌افزار با توجه به فرآیند الگوریتمیک بهینه‌سازی، خود به عنوان یک روش طراحی قابل بررسی بوده و قابلیت دریافت ورودی‌های متنوع به منظور تابع‌های هدف گوناگون در بخش خروجی الگوریتم بهینه‌سازی را دارند.

باز مصرف انرژی در حالت وضعیت پیشنهادی بین ۱۴۸-۸۴ می‌باشد. در حالت پیشنهادی، پنجره شمالی و جنوبی کم‌ترین اتلاف انرژی و پنجره شرق و غرب با اختلاف بیش‌ترین اتلاف انرژی را دارند. کوچک‌ترین پنجره‌ها در تمامی جهت‌ها تقریباً با شرایط یکسان، مصرف انرژی بسیار پایینی دارند، در حالی که مصرف انرژی با افزایش اندازه پنجره تمامی جهت‌ها به‌خصوص جهت شرق و غرب، تفاوت قابل ملاحظه‌ای تا حدود ۶۰ درصد بیش‌تر نشان می‌دهد.

۵. نتیجه‌گیری

این تحقیق در پی پاسخ به این سوال که پنجره‌های جداره‌های خارجی بیمارستان‌های شهر مشهد از چه مشخصات کالبدی می‌بایست برخوردار باشند تا از طریق جذب بهینه انرژی خورشیدی علاوه بر نیل به آسایش حرارتی در محیط داخلی بتوان صرفه‌جویی بیش‌تری در مصرف انرژی نیز داشت انجام شد. لذا جهت‌گیری مناسب پنجره و نسبت پنجره به دیوار در ۱۲ حالت متفاوت از پنجره‌ها که از ترکیب سه شیوه وضع موجود، پیشنهادی میحث ۱۹ و پیشنهادی نگارندگان آزمون شد.

نتایج نشان می‌دهد پنجره‌هایی که طبق دستورالعمل‌های میحث ۱۹ مقررات ملی ساختمان شکل گرفته‌اند، نسبت به پنجره‌های حالت مرسوم بیمارستان‌های مشهد، ۴۵ درصد صرفه‌جویی انرژی بیش‌تری را به همراه دارند، ولیکن در صورت استفاده از روش‌هایی که در جهت عایق‌کاری، عملکرد بهتری دارند، صرفه‌جویی در حد ۶۵ درصد بیش‌تر اتفاق خواهد افتاد. هر کدام از پنجره‌های حالت پیشنهادی به تنهایی در مقام مقایسه با گونه مشابه خود در حالت میحث ۱۹، عملکرد مطلوب‌تری داشته است. همین رابطه بین پنجره‌های حالت میحث ۱۹ و پنجره‌های حالت موجود نیز صادق است.

بهترین جهت نورگیری، جهت‌گیری جنوبی در نظر گرفته می‌شود. در هر سه حالت مورد بررسی، پنجره غربی عملکرد نامطلوب‌تر را به خود اختصاص داده‌است. بالاترین مصرف انرژی پنجره جنوبی بهبودیافته، ۱۲۹ کیلووات از کم‌مصرف‌ترین پنجره جنوبی وضع موجود و ۲۰ کیلووات از کم‌مصرف‌ترین پنجره جنوبی میحث ۱۹ بهتر عمل می‌کند.

بر ساختمان‌های درمانی، نتایج این پژوهش قابلیت تعمیم به تمامی کاربری‌های تمام وقت (۷روز هفته و ۲۴ ساعت روز) را در اقلیم‌های مشابه شرایط اقلیمی مشهد دارند.

این گونه پژوهش‌ها به دلیل روش شبیه‌سازی در فرآیند آن‌ها، قابلیت توسعه و پیشرفت مقیاس نظری به مقیاس واقعی معماری را داشته و می‌توانند به عنوان راهکار موثری در طراحی ساختمان‌های درمانی به کار گرفته شود. علاوه

تشکر و قدردانی

این مقاله هیچ حامی مالی و معنوی نداشته است.

تعارض منافع

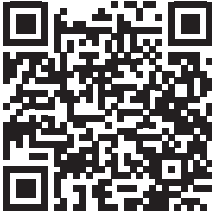
این مقاله فاقد هرگونه تعارض منافی است.


پی‌نوشت

1. GDP
2. www.worldbank.org
3. Window-to-Wall Ratio

فهرست منابع

- Alwetaishi, Mamdooh, and Omrane Benjeddou. 2021. "Impact of Window to Wall Ratio on Energy Loads in Hot Regions: A Study of Building Energy Performance". *Energies* 14(4): 1080. <https://doi.org/10.3390/en14041080>
- Bawaneh, Khaled, Farnaz Ghazi Nezami, M. D. Rasheduzzaman, and Brad Deken. 2019. "Energy Consumption Analysis and Characterization of Healthcare Facilities in the United States". *Energies* 12(19): 3775. <https://doi.org/10.3390/en12193775>
- Cesari, Silvia, Paolo Valdiserri, Maddalena Coccagna, and Sante Mazzacane. 2020. "The energy saving potential of wide windows in hospital patient rooms, optimizing the type of glazing and lighting control strategy under different climatic conditions". *Energies* 13(8): 2116. <https://doi.org/10.3390/en13082116>
- Choi, Joon-Ho, Liliana O. Beltran, and Hway-Suh Kim. 2012. "Impacts of indoor daylight environments on patient average length of stay (ALOS) in a healthcare facility." *Build Environment* 50: 65-75. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2011.10.010>
- Chung, Mo, and Hwa-Choon Park. 2015. "Comparison of building energy demand for hotels, hospitals, and offices in Korea". *Energy* 92: 383-393. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2015.04.016>
- Commercial Buildings Energy Consumption Survey (CBECS). 2019. U.S. Energy Information Administration, 2019. <https://www.eia.gov/consumption/commercial/>
- García-Sanz-Calcedo, Justo. 2014. "Analysis on energy efficiency in healthcare buildings". *J. Healthc Eng* 5(3): 361-73. doi: [10.1260/2040-2295.5.3.361](https://doi.org/10.1260/2040-2295.5.3.361).
- Gatea, Anwer, Mohd Faizal Mohideen Batcha, and Juntakan Taweekun. 2020. "Energy Efficiency and Thermal Comfort in Hospital Buildings: A Review". *International Journal of Integrated Engineering* 12(3): 33-41. <https://publisher.uthm.edu.my/ojs/index.php/ijie/article/view/2763>
- González González, Alfonso, Justo García-Sanz-Calcedo, and David Rodríguez Salgado. 2018. "Evaluation of Energy Consumption in German Hospitals: Benchmarking in the Public Sector". *Energies* 11(9): 2279. <https://doi.org/10.3390/en11092279>
- Iran's national building regulations, the 19th topic of saving energy. 2019. <http://emaoui.ir/wp-content/uploads/2020/10/new-edit.pdf> [in Persian]
- Keighley, E. C. 1973. "Visual requirements and reduced fenestration in offices—A study of multiple apertures and window area". *Building Science* 8: 321-331. [https://doi.org/10.1016/0007-3628\(73\)90017-0](https://doi.org/10.1016/0007-3628(73)90017-0)
- Lee, Ju-Yoon, and Kyoo Dong Song. 2007. "The Daylighting Effects in Hospital for Healing Patients. *International Conference on Sustainable Building Asia, Seoul, Korea, 27 Jun 2007 - 29 Jun 2007*. <http://www.irbnet.de/daten/iconda/CIB8201.pdf>
- Morgenstern, Paula, Maria Li, Rokia Raslan, Paul Ruyssevelt, and Andrew Wright. 2016. "Benchmarking acute hospitals: Composite electricity targets based on departmental consumption intensities?" *Energy and Buildings* 118: 277-290. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2016.02.052>
- Thinate, Nattanee, Wongkot Wongsapai, and Det Damrongsak. 2017. "Energy performance study in Thailand hospital building". *Energy Procedia* (141): 255-259. <https://doi.org/10.1016/j.egypro.2017.11.102>
- Stephen Nimlyat, Pontip, Mohd Zin Kandar, and Eka Sediadi. 2015. "Empirical investigation of indoor environmental quality (ieq) performance in hospital buildings in nigeria". *Jurnal Teknologi* 77 (14). <https://doi.org/10.11113/jt.v77.6445>
- Saidur, R., M. Hasanuzzaman, S. Yogeswaran, H. A. Mohammed, and M. S. Hossain. 2010. "An end-use energy analysis in a Malaysian public hospital". *Energy* 35(12): 4780-4785. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2010.09.012>
- Sherif, Ahmed, Sabry, Hanan, Arafa, Rasha, and Wagdy, Ayman. 2014. "Energy Efficient Hospital Patient Room Design: Effect of Room Shape on Window-to-Wall Ratio in a Desert Climate". *30th International PLEA Conference: Sustainable Habitat for Developing Societies: Choosing the Way Forward - Proceedings*, pp. 352-360. <https://eprints.qut.edu.au/204270/>
- Singer, Brett C. 2009. *Hospital Energy Benchmarking Guidance*. Version 10 ed. Berkeley, CA, USA.: Lawrence Berkeley National Laboratory. <https://www.oști.gov/servlets/purl/974318>
- Shikder, Shariful, Monjur Mourshed, A. D. F. Price. 2010. "Optimisation of a daylight-window: hospital patient room as a test case". *The International Conference on Computing in Civil and Building Engineering*. https://www.researchgate.net/publication/225071502_Optimisation_of_a_daylight-window_hospital_patient_room_as_a_test_case
- Standard book of safe hospital planning and design. Volume 10 – Standards and general requirements of hospitals. <https://dmr.semums.ac.ir/> [in Persian]
- Yuan, Feng, Running Yao, Sasan Sadrizadeh, Baiyi Li, Guangyu Cao, Shaoxing Zhang, Shan Zhou, Hong Liu, Anna Bogdan, Crisțiana Croitoru, Arsen Melikov, C. Alan Short, and Baizhan Li. 2022. "Thermal comfort in hospital buildings – A literature review". *Journal of Building Engineering* 45: 103463. <https://doi.org/10.1016/j.jobbe.2021.103463>

<p>نحوه ارجاع به این مقاله</p> <p>حسینی، سید رضا، سید مجید مفیدی شمیرانی، و ایرج اعتصام. ۱۴۰۲. تعیین نسبت بهینه پنجره به دیوار در بیمارستان‌های شهر مشهد با هدف افزایش بهره‌وری انرژی ساختمان. نشریه معماری و شهرسازی آرمان شهر ۱۶(۴۳): ۲۱۳-۲۲۶.</p> <p>DOI: 10.22034/AAUD.2023.350077.2685</p> <p>URL: https://www.armanshahrjournal.com/article_178276.html</p>	
---	---

<p>COPYRIGHTS</p> <p>Copyright for this article is retained by the author(s), with publication rights granted to the Armanshahr Architecture & Urban Development Journal. This is an open- access article distributed under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution License.</p> <p>http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/</p>	
---	---